

17.586/H/03



TUGAS AKHIR
KL 1702

**PENGEMBANGAN PIRANTI LUNAK ANALISA
KEANDALAN KEKUATAN STRUKTUR
MONOPOD**



RSKe
005.1
Aba
p-1

2000

Disusun Oleh :

HOBBY RIA ABADI
NRP. 4394.100.039

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000**

Rp. 35.000

PENG. ARZANI	
Tgl. Terima	13/02/01
Tanda Tangan	H
No. A. 3112	21 2112

PENGEMBANGAN PIRANTI LUNAK ANALISA KEANDALAN KEKUATAN STRUKTUR MONOPOD

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

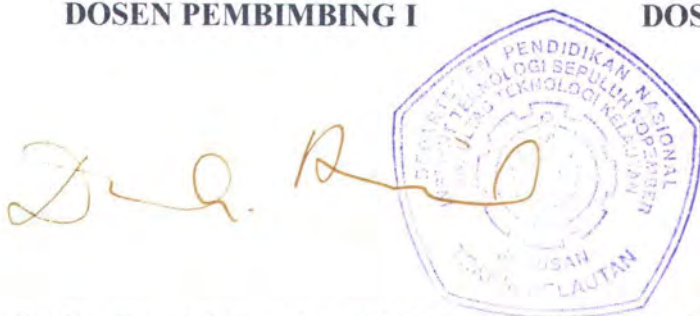
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui/Menyetujui

DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II



Dr.Ir. DANIEL M. ROSYID

NIP: 131 782 038

DR.Ir. HARTANTA TARIGAN

NIP: 131 561 416

**SURABAYA
Januari, 2001**

Barang siapa yang berlaqwa kepada Alloh
niscaya Dia akan mengadakan baginya jalan
keluar. Dan memberinya rezki dari arah yang
liada disangka-sangkanya. Dan barang siapa
yang berlawakkal kepada Alloh niscaya Alloh
akan mencukupkan (keperluannya). [AL QURAN
SURAH AT THOHAQ , 2-3]

ABSTRAK

Penelitian ini membahas mengenai keandalan struktur monopod. Tinjauan moda kegagalannya adalah kekuatan terhadap beban kombinasi, yakni gabungan beban aksial dan beban momen bending. Persamaan moda kegagalannya adalah bahwa perbandingan antara tegangan aksial dengan tegangan aksial ijin ditambah dengan perbandingan antara tegangan momen bending dengan tegangan momen bending ijin harus kurang dari satu.

Perhitungan keandalan struktur monopod dilakukan untuk mendapatkan berapa besar peluang keandalannya. Metode analisa keandalan yang dipakai adalah *Metode Advanced First Order Second Moment*(AFOSM), dan sebagai pembanding dipakai metode Simulasi Montecarlo. Analisa keandalan dengan metode AFOSM adalah proses iterasi sehingga untuk memudahkan perhitungan maka dibuat sebuah piranti lunak dengan nama RAAFOSM(*Reliability Analysis with Advanced First Order Second Moment*).

Dari running perangkat lunak RAAFOSM untuk kasus monopod LL-4A ARJUNA milik PT arco diperoleh nilai keandalan yang sangat tinggi. Sedangkan apabila beban gaya aksial rata-ratanya dinaikkan maka peluang keandalannya akan turun. Demikian halnya apabila ukuran diameternya diturunkan maka peluang keandalannya juga turun.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robil ‘alamin, segala puji kupanjatkan kepada Alloh SWT atas segala rahmat-Nya dengan selesainya tugas akhir berjudul Pengembangan Piranti Lunak Analisa Keandalan Kekuatan Struktur Monopod. Sungguh tanpa pertolongannya tugas akhir ini tidak dapat selesai.

Tugas akhir ini disusun dengan maksud untuk memenuhi syarat kelulusan strata satu pada jurusan teknik kelautan, fakultas teknologi kelautan, institut teknologi sepuluh nopember surabaya(ITS).

Penulis merasa bahwa tugas akhir ini selesai juga berkat bantuan dan pertolongan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis perlu menyampaikan rasa terima kasih yang tiada terkira kepada:

1. Bapak – ibu penulis yang tercinta atas segala perjuangannya, kasih sayang, dorongan semangat dan segalanya yang telah banyak diberikan dengan tulus pada penulis.
2. Bapak Ir. Daniel M. Rosyid, PhD. , selaku dosen pembimbing I atas kesempatan, waktu dan arahannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr.Ir. Hartanta Tarigan selaku dosen pembimbing II atas kesempatan yang diberikan.
4. Bapak Ir. Hasan Ikhwan MSc. , selaku dosen koordinator tugas akhir atas kesempatan, waktu, saran dan nasehatnya sehingga penulis tetap berusaha menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Ir.J.J. Soedjono selaku dosen wali atas segala bimbingannya selama penulis menjadi mahasiswa teknik kelautan ITS.

6. Mas Pri, Cak No selaku staf jurusan atas bantuan-bantuan yang diberikan selama penulis kuliah.
7. Rekan-rekan GR 3, GR2(Dj, Hamidi, Cak Bas), T 80 atas segala bantuan data, buku, komputer dan keramahatamahannya.
8. Rekan-rekan 'OE 94' seperjuangan, semoga kita bisa berguna dan memberi andil yang besar pada masyarakat.
9. Mas Wasis P. atas pinjaman software simulasi Montecarlonya.
10. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf yang sebesar-besarnya atas kekurangan yang mungkin masih banyak terdapat dalam penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini memberi sedikit manfaat dalam perancangan monopod dan bagi para pembaca.

Penulis

DAFTAR ISI

Abstraksi.....	i
Kata Pengantar.....	ii
Daftar Isi.....	iv
Daftar Tabel.....	vii
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Notasi.....	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah.....	I-1
1.2. Perumusan Masalah.....	I-4
1.3. Batasan Masalah.....	I-5
1.4. Tujuan dan Manfaat Penulisan.....	I-6
1.5. Metodologi	I-6
1.5.1. Analisa Keandalan.....	I-6
1.5.2. Pengembangan Piranti Lunak.....	I-8
1.6. Sistematika Penulisan.....	I-8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Umum.....	II-1
2.2. Monopod.....	II-2
2.3. Kekuatan Struktur Monopod.....	II-3

2.3.1. Kekuatan Terhadap Buckling.....	II-4
2.3.2. Kekuatan Terhadap Moment Bending.....	II-6
2.3.3. Beban Kombinasi.....	II-8
2.4. Fungsi Kenerja Sistem.....	II-9
2.5. Keandalan Struktur.....	II-11
2.5.1. Metode AFOSM.....	II-14
2.5.2. Simulasi Montecarlo.....	II-16

BAB III APLIKASI ANALISA KEANDALAN DENGAN METODE AFOSM UNTUK KASUS ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE MONOPOD

3.1. Data Monopod.....	III-1
3.2. Perhitungan Pembebanan Pada Kaki Struktur Monopod.....	III-2
3.2.1. Beban Aksial Pada Monopod.....	III-2
3.2.2. Luas Penampang.....	III-3
3.2.3. Tegangan Aksial.....	III-3
3.2.4. Modulus Irisan Elastis.....	III-4
3.2.5. Tegangan Aksial Ijin.....	III-4
3.2.6. Momen Bending.....	III-5
3.2.7. Perhitungan Tegangan Bending Ijin.....	III-7
3.3. Penetapan Moda Kegagalan atau Keadaan Batas.....	III-7
3.4. Penentuan dan Karakterisasi Perubah Dasarnya.....	III-9
3.4.1. Beban Aksial yang Bekerja.....	III-9
3.4.2. Tegangan atau Beban Aksial yang Diijinkan.....	III-10
3.4.3. Tegangan atau Beban Momen Bending.....	III-10

3.4.4. Tegangan atau Beban Momen Bending yang Diiijinkan.....	III-10
3.5. Perhitungan Keandalan dengan Metode AFOSM.....	III-11

BAB IV ANALISA HASIL PERHITUNGAN KENDALAN

4.1. Perhitungan Keandalan.....	IV-1
4.2. Analisa Hasil Perhitungan.....	IV-8

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	V-1
5.2. Saran.....	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A Penggunaan Piranti Lunak

LAMPIRAN B Data Struktur Monopod LL-4A ARJUNA Milik PT

ARCO INDONESIA

LAMPIRAN C Listing Program RAAFOSM

LAMPIRAN D Iterasi Betha (indeks keandalan) Hasil Running untuk Beberapa
Contoh Kasus

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel Harga Faktor Panjang Efektif.....	II-6
Tabel 3.1. Karakterisasi Perubah Dasar.....	III-11
Tabel 4.1. Karakterisasi Perubah Dasar.....	IV-1
Tabel 4.2.a. Hasil Iterasi Indeks Keandalan.....	IV-1
Tabel 4.2.b. Hasil Iterasi Indeks Keandalan.....	IV-2
Tabel 4.3. Perhitungan Indeks Keandalan dan Peluang Kegagalan.....	IV-3

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Struktur Monopod.....	I-3
Gambar 1.2. Model Pembebanan.....	I-4
Gambar 1.3. Diagram Alir Metode AFOSM.....	I-7
Gambar 2.1. Indeks Keandalan untuk Fungsi Kinerja yang Non Linier.....	II-11
Gambar 2.2. Fungsi Batas Tak Linier.....	II-15
Gambar 2.3. Flow Chart Transformasi dari μ_p Menjadi X_p	II-18
Gambar 2.4. Algoritma Simulasi Montecarlo.....	II-19
Gambar 4.1. Grafik Hubungan antara Gaya Aksial Rata-Rata dengan Indeks Keandalan.....	IV-3
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Gaya Aksial rata-rata dengan Keandalan.....	IV-4
Gambar 4.3. Grafik Hubungan antara Indeks Keandalan Dengan Peluang Kegagalan.....	IV-4
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Tebal Pipa Dengan Indeks Keandalan.....	IV-6
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Tebal Pipa Dengan Keandalan.....	IV-6

DAFTAR NOTASI

a	Amplitudo gelombang (m)
A	Luas penampang melintang (m^2)
c	Simpangan terjauh dari titik pusat (m)
C_l	Koefisien inersia
C_d	Koefisien drag
C_s	Koefisien bentuk efektif
d	Diameter dalam (m)
D	Diameter luar (m)
E	Modulus Elastisitas (Mpa)
f_a	Tegangan aksial yang bekerja pada struktur (MPa)
f_b	Tegangan bending yang bekerja pada struktur (MPa)
F_a	Tegangan aksial ijin (MPa)
F_b	Tegangan bending ijin (MPa)
F_K	Beban tegangan kombinasi (Mpa)
F_y	Tegangan luluh (Mpa)
g	Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
h	Kedalaman perairan sampai seabed (m)
I	Momen inersia (m^4)
K	Faktor panjang efektif
L	Panjang struktur (m)
M	Momen bending (kN.m atau MN.m)

P	Gaya aksial yang bekerja (kN)
r	Jari-jari girasi (m)
S	Modulus irisan elastis (m ³)
t	Tebal pipa (m)
α	Faktor kepekaan
β	Indeks keandalan



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Semakin menipisnya cadangan hidrokarbon di darat mendorong beralihnya industri pengeboran dan produksi minyak lepas pantai. Proses pengeboran dan produksi hidrokarbon di lepas pantai sangat membutuhkan adanya bangunan lepas pantai. Bangunan ini sangat penting mengingat letak cadangan minyak yang jauh di bawah permukaan dasar laut.

Banyak jenis bangunan lepas pantai yang telah dioperasikan di berbagai wilayah perairan laut. Bangunan lepas pantai tersebut berupa bangunan terpancang(*Jacket, Concrete Gravity, Tripot, Monopod*), bangunan terapung(*Semisubmersible, Drilling Ships, TLP*) dan bangunan laut struktur lentur(*Guyed Tower, Articulated Tower*).

Untuk perairan laut di Indonesia, struktur bangunan laut yang lebih mungkin digunakan adalah jenis *fixed structure*, seperti *jacket, jackup, tripod, monopod* dan lain-lain. Struktur monopod yang terdiri atas sebuah silinder baja dengan struktur deck dan pondasi tiang pancang adalah struktur bangunan laut yang paling sederhana.

Monopod adalah anjungan paling sederhana dimana hanya dengan kaki tunggal untuk menopang beban-beban yang bekerja(lihat gambar 1.1). Beban-

beban tersebut adalah beban yang ada pada deck dan beban lingkungan. Dengan adanya beban-beban tersebut maka analisa kekuatan kaki adalah sangat penting.

Kaki struktur tersebut merupakan suatu balok-kolom. Apabila balok-kolom ini menopang beban yang kurang dari beban kritis maka kolom ini akan kembali lurus. Bila beban momen ditambahkan pada balok-kolom tersebut maka akan terjadi defleksi.

Beban lingkungan sangat berpengaruh pada kolom ini mengingat diameter balok-kolom ini cukup besar. Distribusi beban pada struktur tersebut ditambah dengan beban lingkungan menuntut tersedianya cadangan kekuatan yang cukup memadai agar kelangsungan operasional struktur tetap terjaga.

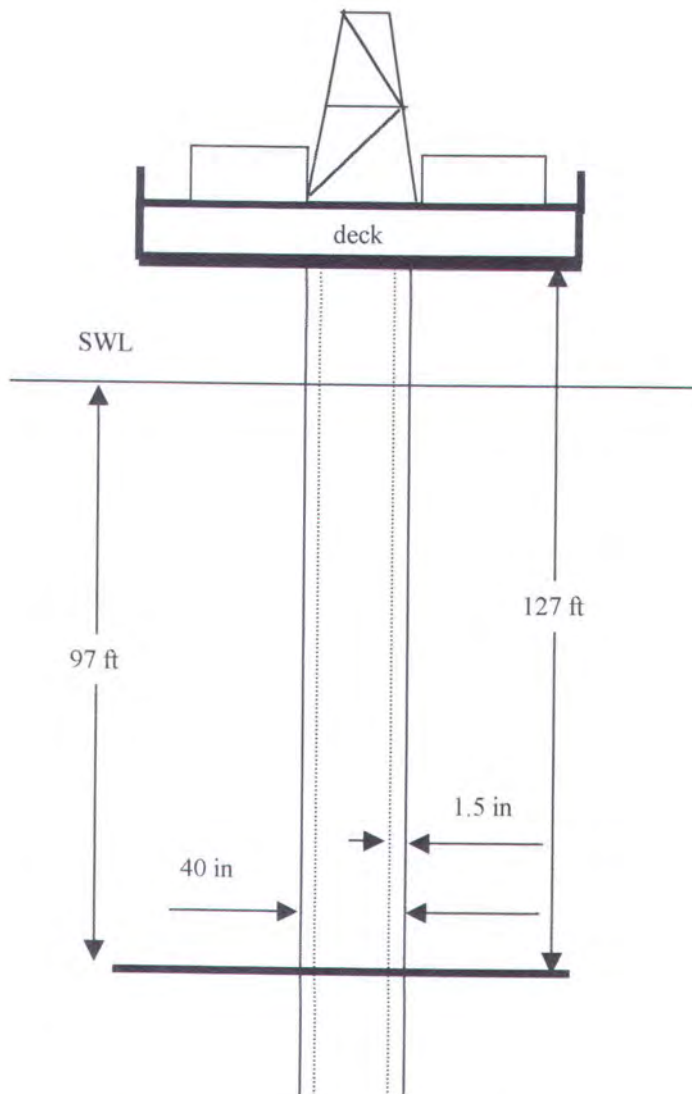
Umumnya perancangan-perancangan struktur bangunan lepas pantai memakai pendekatan angka keamanan. Pendekatan angka keamanan tersebut hanya memperhatikan harga rata-rata dari variabel-variabel atau besaran-besaran perancangan, tanpa memperhatikan adanya sebaran atau variabilitas variabel-variabel tersebut.

Pada kenyataannya variabel-variabel penentu dalam perancangan anjungan lepas pantai memiliki ketidakpastian atau memiliki variasi dengan sebaran tertentu. Ketidakpastian atau variasi itu bisa berupa variasi pada tegangan luluh, luas penampang melintang, dan sebagainya. Ketidakpastian ini menyebabkan pemakaian angka keamanan dianggap tidak rasional lagi.

Adanya ketidakpastian tersebut dapat diakomodasi dengan pemakaian metode probabilitas atau metode peluang. Metode probabilitas menawarkan suatu cara perbandingan yang lebih baik dengan memperhatikan semua mekanisme kegagalan. Metode ini dapat menjadikan tingkat keamanan menyeluruh yang

lebih baik dan lebih cocok untuk perancangan. Lebih daripada itu metode keandalan menawarkan kemampuan untuk pemahaman yang lebih baik dengan melibatkan bermacam-macam variabel ketidakpastian. [Rosyid, D.M. (1996)].

Akhirnya untuk mempermudah dan mendapatkan hasil yang lebih akurat pada analisa keandalan tersebut maka perlu dibuat suatu perangkat atau piranti lunak untuk analisa keandalan. Adanya perangkat lunak atau piranti lunak tersebut akan sangat membantu dalam analisa keandalan kekuatan struktur monopod yang lain.

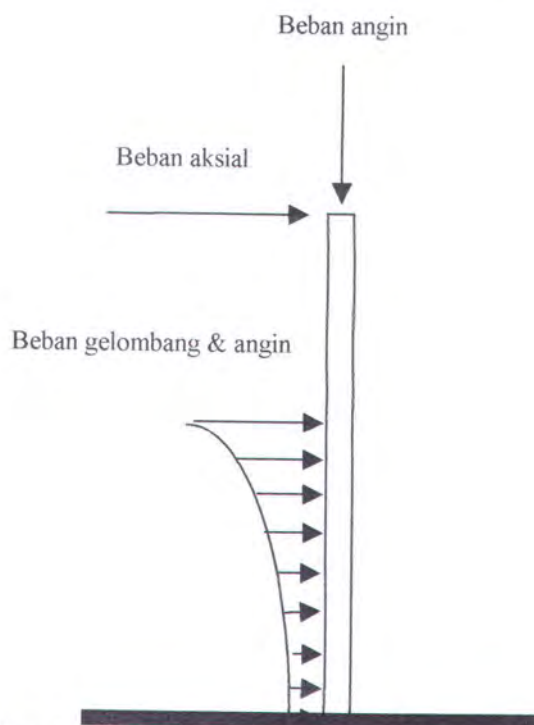


Gambar 1.1. gambar struktur monopod

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Kekuatan merupakan kriteria yang terpenting dalam perancangan sebuah struktur bangunan lepas pantai. Sedangkan parameter kekuatan yang bisa dipertimbangkan adalah buckling, kekuatan bending, kelelahan, dan lain sebagainya.

Monopod adalah suatu struktur yang beban bangunan atas dan beban lingkungannya hanya ditopang oleh satu kaki. Pembebanan pada kaki struktur monopod tersebut dapat dimodelkan sebagai berikut:



Gambar 1.2. Model distribusi pembebanan pada monopod

Pembebanan tersebut bisa dipakai sebagai pertimbangan dalam perancangan suatu struktur. Umumnya perhitungan-perhitungan perancangan suatu struktur memakai harga rata-rata dari besaran-besaran penentu perancangan. Sedangkan kenyataanya besaran-besaran penentu perancangan tersebut memiliki

harga ketidakpastian atau variabilitas, misalnya ketidakpastian fisik seperti beban, sifat material, ukuran material dan lain sebagainya.

Berdasarkan uraian di atas yang menjadi permasalahan dalam tugas akhir ini adalah:

- a. Bagaimana keandalan kekuatan struktur monopod dengan adanya ketidakpastian tersebut(menghitung indeks keandalan β).
- b. Bagaimana Metoda analisa keandalan kekuatan tersebut diterjemahkan kedalam bahasa pemrograman, sehingga menjadi perangkat lunak yang dapat dipakai dalam analisa-analisa keandalan struktur monopod yang lain.

1.3. BATASAN MASALAH

Untuk membuat analisa ini lebih terarah maka diambil batasan permasalahan dan asumsi sebagai berikut:

a. batasan masalah:

- Beban lingkungan yang bekerja adalah beban gelombang, arus dan angin.
- Analisa kekuatannya terhadap beban aksial maupun horizontal.
- struktur berupa beam-kolom tunggal.
- Penumpunya berupa jepit.
- Bagian struktur yang akan dianalisa adalah kaki struktur.

b. asumsi-asumsi:

- Struktur lurus sempurna.

- Tidak terjadi scour.
- Pile dianggap menerus tanpa lasan.
- persamaan morison berlaku dalam perhitungan beban gelombang.
- Arah pembebanan dari depan.
- Struktur dapat diibaratkan sebagai kantilever.

1.4. TUJUAN DAN MANFAAT

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk memberikan informasi kekuatan suatu struktur monopod dan bagaimana keandalannya. Hasil analisa ini diharapkan akan bisa memberikan masukan dalam perancangan-perancangan struktur monopod. Dengan mengetahui tingkat keandalan struktur tersebut maka akan diperoleh suatu struktur yang handal dengan biaya yang seekonomis mungkin. Sehingga pada akhir proses dapat diperhitungkan optimisasi biaya dari keseluruhan proses perancangan.

1.5. METODOLOGI

Metodologi penelitian ini dapat dibagi dalam dua hal, yaitu analisa keandalan dan pengembangan piranti lunaknya. Kedua hal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1.5.1. Analisa Keandalan

Dalam analisa keandalan tersebut dipakai metode AFOSM(*Advanced First Order Second Moment*). Langkah awal sebelum analisa keandalan dilakukan

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan teori-teori yang berhubungan dengan pembahasan ini. yakni: keandalan, kekuatan dan monopod.

BAB III APLIKASI ANALISA KEANDALAN DENGAN METODE AFOSM UNTUK KASUS ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE MONOPOD

Bab ini menjelaskan perhitungan pembebanan-pembebanan pada struktur., penetapan moda kegagalan dan analisa keandalan.

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS KEANDALAN

Bab ini memeberikan pengujian terhadap model yang dikembangkan dalam bab sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak yang dibuat khusus untuk permasalahan tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan yang ditarik dari dari keseluruhan analisa dan saran yang diusulkan untuk perencanaan struktur.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1. UMUM

Proses perancangan struktur bangunan laut adalah proses yang berlangsung secara berulang. Seorang perancang dalam merencanakan ukuran suatu struktur maka akan melakukan perhitungan berkali-kali sampai mendapatkan atau menemukan struktur yang diinginkan. Perhitungan rumit yang dilakukan berulang-ulang secara manual memiliki kemungkinan melakukan kesalahan sangat besar. Untuk mempermudah perhitungan perancangan maka para perancang struktur banyak menggunakan komputer. Komputer merupakan sarana canggih dengan kecepatan, ketepatan dan kemudahannya dalam membantu perancang untuk menyelesaikan persoalan-persoalan yang dihadapinya.

Dalam tugas akhir ini dikembangkan suatu piranti atau perangkat lunak yang akan membantu dalam perhitungan tingkat keandalan kekuatan struktur monopod. Piranti lunak tersebut akan dikembangkan dalam bahasa pemrograman Delphi dari Borland.

Delphi adalah bahasa pemrograman yang menggabungkan pemrograman visual dan berorientasi objek kedalam lingkungan yang memudahkan programmer karena delphi menyediakan arsitektur yang memungkinkan penggunaan ulang komponen-komponen program.

Dengan memakai bahasa pemrograman Delphi yang bekerja under Windows maka piranti lunak analisa keandalan kekuatan struktur monopod tersebut akan sangat memudahkan pemakai. Hal tersebut dimungkinkan karena dalam Delphi input maupun outputnya ditampilkan dalam bentuk windows.

2.2. MONOPOD

Cadangan minyak bumi di daratan semakin menipis, dan semakin banyak ditemukan cadangan minyak dalam skala besar di wilayah perairan laut. Hal tersebut menyebabkan beralihnya pengeboran minyak bumi ke wilayah perairan.

Untuk melakukan pengeboran minyak di wilayah perairan maka diperlukan suatu bangunan yang akan menopang seluruh peralatan baik selama proses pengeboran maupun selama produksi. Bangunan tersebut dikenal dengan nama bangunan laut atau bangunan lepas pantai. Banyak sekali jenis bangunan lepas pantai yang telah beroperasi di wilayah perairan dunia saat ini. Bangunan tersebut antara lain berupa Jacket, Jack up, Semisubmersible, Monopod dan sebagainya.

Di wilayah perairan Indonesia sudah dioperasikan beberapa jenis bangunan lepas pantai tersebut. Kebanyakan dipakai bangunan lepas pantai jenis Jacket, tetapi di wilayah perairan Laut Jawa juga telah beroperasi beberapa bangunan tipe Monopod. Monopod adalah bangunan lepas pantai yang paling sederhana di mana deck atau bangunan atasnya hanya ditopang oleh sebuah kaki tunggal. Pada tipe ini beban bangunan atas hanya ditransformasikan oleh sebuah kaki, sehingga kaki struktur ini bisa sangat besar mengingat seluruh beban ditopang oleh satu kaki.

Struktur jrnis ini bisa dipakai di perairan dengan kedalaman mencapai kurang lebih 125 ft tetapi dalam praktik kebanyakan rata-rata hanya sekitar 75 ft. struktur jenis ini dirancang ukurannya untuk menopang beban gaya lingkungan dan momen bending resultan sepanjang kaki struktur.

Terkadang kaki monopod dibuat meruncing secara bertahap pada struktur kakinya, maksudnya pada bagian atau yang dekat dengan permukaan air laut diameternya lebih kecil dibandingkan dengan yang berada di dasar laut atau pada pondasi. Hal ini dibuat dengan maksud untuk memperkecil besarnya beban gelombang dan memperbesar atau memaksimalkan kekuatan bagian pondasi di dasar laut(*mudline*)[McClelland dan Reifel,(1989)].

Struktur monopod ini biasanya digunakan sebagai *light tower* atau struktur akomodasi pembantu, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk dipakai sebagai *living quarter* atau *wellhead*. Pemakaian anjungan tipe monopod ini biasanya dikarenakan beberapa hal yaitu: bianya produksi yang relatif murah, kondisi perairan dan lingkungan relatif tenang, umur produksinya relatif pendek, dan bila monopod dipakai sebagai *wellhead* maka hal itu karena cadangan minyak bumi tinggal sedikit.

2.3. KEKUATAN STRUKTUR MONOPOD

Kriteria kekuatan merupakan kriteria terpenting dalam perancangan sebuah struktur bangunan lepas pantai. Besarnya kekuatan atau daya dukung suatu struktur sangat menentukan ukuran-ukuran struktur yang akan dibuat. Kekuatan merupakan merupakan kriteria paling penting yang harus dipertimbangkan selain

kriteria kekakuan, biaya fabrikasi, biaya perawatan dan lain sebagainya. Akan percuma saja kita merancang atau membuat suatu struktur tetapi akhirnya struktur tersebut gagal karena tidak cukup kuat untuk menahan beban yang bekerja selama waktu operasionalnya.

Dalam API RP-2A disebutkan beberapa kriteria yang harus dipertimbangkan dalam perancangan sebuah struktur bangunan lepas pantai. Salah satu kriteria yang harus diperhatikan adalah kriteria kekuatan yang meliputi kekuatan terhadap buckling, kekuatan terhadap bending, kekuatan terhadap beban kombinasi, kelelahan dan lain sebagainya.

2.2.1 Kekuatan terhadap Buckling

Buckling akan terjadi apabila beban yang berupa tekanan (*compression*) yang bekerja pada sumbu aksial suatu struktur melebihi beban kritis atau beban ijin yang dimiliki oleh struktur tersebut. Kelebihan beban ini menyebabkan struktur tersebut mengalami tekuk atau defleksi dan tidak mampu lurus kembali.

Sifat-sifat material yang berpengaruh terhadap perilaku buckling sebuah struktur pipa baja diantaranya adalah modulus elastisitas (E) dan tegangan luluh (F_y) suatu struktur.

Perhitungan tegangan aksial yang bekerja pada suatu struktur monopod dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_a = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

di mana:

$$f_a = \text{tegangan aksial yang bekerja pada struktur}$$

P = gaya aksial yang bekerja pada struktur

A = luas penampang melintang struktur

Sedangkan API RP-2A memberikan rumusan untuk tegangan aksial ijin sebagai berikut:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(KL/r\right)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3\left(KL/r\right)}{8C_c} - \frac{\left(KL/r\right)^3}{8C_c^2}} ; \text{ untuk } KL/r \leq C \quad (2.2)$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23\left(KL/r\right)^2} ; \text{ untuk } KL/r \geq C_c \quad (2.3)$$

$$C_c = \left(\frac{2\pi^2 E}{F_y}\right)^{1/2} \text{ dan } r = \sqrt{I/A} \quad (2.4)$$

di mana:

F_a = tegangan tekan aksial ijin

F_y = tegangan luluh

E = modulus elastisitas

K = faktor panjang efektif

L = panjang struktur yang ditinjau

R = jari-jari girasi

I = momen inersia

Berdasarkan rumus perhitungan di atas maka kegagalan struktur monopod akan terjadi apabila beban aksial yang bekerja pada struktur lebih besar dibandingkan dengan beban ijin yang telah disyaratkan.

$$f_a \geq F_a$$

Sedangkan besarnya harga faktor panjang efektif menurut API RP-2A dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Situation	Harga K
super struktur	
brace	1.0
Jacket legs and pilling	
grouted composite section	1.0
ungrouted jacket legs	1.0
ungrouted pilling between shim points	1.0
deck truss web member	
in-plane action	0.8
out-of plane action	1.0
jacket braces	
face to face length of main diagonals	0.8
face of leg to centreline of joint length of K brace	0.8
longer segment length of X braces	0.9
secondary horizontals	0.7
deck truss chord member	1.0

tabel 2.1 tabel harga faktor panjang efektif

2.2.2 Kekuatan terhadap Momen Bending

Apabila suatu struktur bangunan lepas pantai telah diinstalasikan di suatu lokasi maka beban yang bekerja pada anjungan lepas pantai bukan hanya beban dari deck atau bangunan atasnya saja tetapi juga beban lingkungan. Beban lingkungan tersebut dapat berupa beban angin, beban gelombang, beban arus, dan sebagainya. Beban lingkungan tersebut akan menambah atau memperbesar beban momen bending yang bekerja pada struktur monopod. Adanya beban lingkungan

ini bisa mengakibatkan struktur kita mengalami defleksi yang cukup signifikan. Tegangan bending yang bekerja pada struktur monopod dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{Mc}{I} \quad (2.5)$$

Sedangkan tegangan ijinnya dapat dihitung dengan memakai rumusan yang diberikan oleh API RP-2A, yaitu sebagai berikut:

$$F_b = 0.75F_y, \text{ untuk } \frac{D}{t} \leq \frac{1500}{F_y}, \text{ (British)}$$

$$\text{atau } \frac{D}{t} \leq \frac{10340}{F_y}, \text{ dalam satuan SI} \quad (2.6)$$

$$F_b = \left[0.84 - 1.74 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y, \text{ untuk } \frac{1500}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{F_y}, \text{ (British)}$$

$$\text{atau } \frac{10340}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{20680}{F_y}, \text{ dalam satuan SI} \quad (2.7)$$

$$F_b = \left[0.72 - 0.58 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y, \text{ untuk } \frac{3000}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300, \text{ (British)}$$

$$\text{atau } \frac{20680}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300, \text{ dalam satuan SI} \quad (2.8)$$

Keterangan:

F_b	=	tegangan bending ijin
F_y	=	tegangan luluh
E	=	modulus elastisitas
P	=	gaya aksial

A	=	luas penampang melintang
M	=	momen lentur
S	=	modulus irisan elastis
I	=	momen inersia
D	=	diameter
t	=	tebal plat

2.2.3 Beban Kombinasi

Sebenarnya beban-beban yang bekerja pada struktur kaki monopod adalah merupakan beban gabungan dari beberapa beban jadi bukan hanya satu jenis beban saja. API RP-2A beberapa beban kombinasi dan beberapa batasan-batasan yang harus dipenuhinya. Beban kombinasi tersebut diantaranya kombinasi beban aksial dengan bending, axial tension dengan hidrostatic pressure dan axial compression dengan hidrostatic pressure, dan sebagainya.

Untuk beban kombinasi antara beban aksial yang ada pada ketinggian deck structure dan beban-beban lingkungan yang bekerja pada struktur monopod dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_k = \frac{P}{A} + \frac{M}{S} \quad (2.9)$$

Sedangkan besarnya beban yang diijinkan atau disyaratkan oleh API RP-2A adalah sebagai berikut:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (1.10)$$

di mana:

f_K	=	beban kombinasi
f_a	=	beban aksial
f_b	=	beban bending
F_a	=	beban aksial ijin
F_b	=	beban bending ijin

2.4. FUNGSI KINERJA SISTEM

Fungsi kinerja sistem FK adalah sebuah fungsi yang menyatakan moda kegagalan yang hendak dihindari(diperkirakan peluang terjadinya) dalam perubah-perubah (X) yang mengatur moda kegagalan tersebut. Dari sekian banyak perubah dasar tersebut yang memiliki ketidakpastian yang cukup besar sehingga lebih wajar jika diperlakukan sebagai perubah acak dengan fungsi kerapatan peluang fkp tertentu. Perubah-perubah tersebut selanjutnya disebut sebagai perubah dasar(*basic variables*) dalam fungsi kinerja tertentu.

$$FK(X) = FK(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.11)$$

Kasus paling sederhana adalah apabila fungsi kinerja struktur $FK(X)$ merupakan fungsi linier dalam (X), sebagai berikut:

$$FK(X) = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n \quad (2.12)$$

Di mana a_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$ adalah konstanta, dan X_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$ adalah perubah dasar sesuai dengan fungsi kerapatan normal gaussian.

Untuk fungsi kinerja yang sifatnya non linier maka perlu dilinierkan. Untuk melinierkan fungsi kinerja ada beberapa metode yang bisa dipakai antara lain metode MVFOSM(*Mean Value First Order Second Moment*) dan

AFOSM(*Advanced First Order Second Moment*). Dengan metode MVFOSM maka linierisasi fungsi kinerja dilakukan di titik μ_{X_i} . Dengan ekspansi taylor, $FK(X)$ yang dilinierkan pada titik X_0 memperoleh bentuk sebagai berikut:

$$FK(X) = FK(X_0) + \sum_{i=1}^n \frac{\delta FK}{\delta X_i} (X_i - X_0) \quad (2.13)$$

Dimana turunan parsial dihitung di titik ekspansi X_0 . harga pendekatan untuk μ_{FK} dan σ_{FK}^2 adalah sebagai berikut:

$$\mu_{FK} = FK(X_0) + \sum_{i=1}^n \frac{\delta FK}{\delta X_i} (\mu_{X_i} - X_0) \quad (2.14)$$

$$\sigma_{FK}^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\delta FK}{\delta X_i} \frac{\delta FK}{\delta X_j} \text{Cov}(X_i, X_j) \quad (2.15)$$

sedangkan

$$\rho_{X_i X_j} = \frac{\text{Cov}(X_i, X_j)}{\sigma_{X_i} \sigma_{X_j}} \quad (2.16)$$

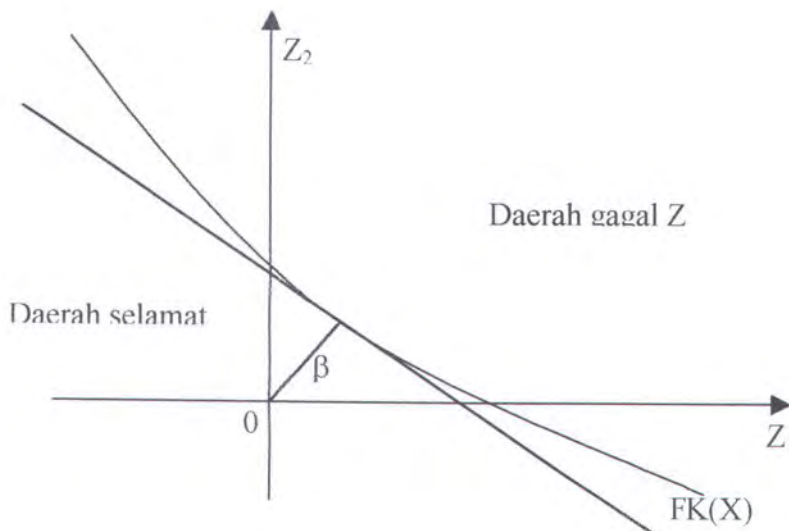
Dimana $\rho_{X_i X_j}$ adalah koefisien korelasi antara X_i dan X_j . Jelas sekali bahwa harga pendekatan untuk μ_{FK} sangat tergantung pada titik linierisasi X_0 .

Dalam metode AFOSM apabila semua perubah dasar X ditransformasikan menjadi perubah dasar baku Z (dengan $\mu_{Z_i} = 0$, dan $\sigma_{Z_i} = 1$) melalui transformasi berikut:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu_{X_i}}{\sigma_{X_i}} \quad (2.17)$$

Maka indeks keandalan β adalah jarak terdekat dari titik origin 0 ke bidang kegagalan (failure surface) $FK(X) = 0$. interpretasi inilah yang dipakai untuk menentukan titik linierisasi untuk fungsi kinerja yang non-linier.

Selanjutnya, indeks keandalan β untuk bidang kegagalan $FK(Z)$ yang non-linier adalah jarak terdekat dari sebuah bidang singgung atas bidang kegagalan $FK(Z)$ ke titik origin 0 (lihat gambar).



Gambar 2.1 Indeks keandalan untuk fungsi kinerja non-linier

2.5. KEANDALAN STRUKTUR

Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu yang telah ditetapkan apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu[Rosyid,D.M.(1996)].

Pada analisa keandalan permasalahan dianalisa dengan tiga perbandingan yaitu: harga rata-rata, simpangan baku dan fungsi peluang dimana ketiga besaran tersebut menunjukkan adanya ketidakpastian. Untuk menghitung adanya

ketidakpastian dalam analisa keandalan, maka perlu didefinisikan perubah-perubah dasarnya.

Perubah dasar adalah sekumpulan besaran dasar yang memiliki sifat-sifat probabilistik. Perubah dasar tersebut antara lain: sifat mekanika material, dimensi, berat, beban lingkungan dan sebagainya. Perubah dasar tersebut dipakai secara fundamental oleh perancang dalam analisa struktur. Dalam analisa keandalan struktur maka perlu untuk mendefinisikan ketidakpastian yang diterima oleh struktur. Ketidakpastian tersebut dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu[Cristensen dan Murotsu,(1985)]:

1. Ketidakpastian fisik, adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan ketidakseragaman(*variability*) fisik, seperti: beban, sifat material dan ukuran material. Keseragaman fisik ini hanya bisa dinyatakan dalam data sampel dengan pertimbangan praktis dan ekonomis.
2. Ketidakpastian statistik, berhubungan dengan data-data yang dipakai untuk membuat model secara probabilistik dari berbagai macam keseragaman fisik di atas. Data ini harus ditentukan distribusi probabilitasnya serta harga parameter-parameternya. Parameter-parameter itu dengan sendirinya dianggap sebagai perubah acak, sedangkan ketidakpastian yang tergantung pada data itu disebut ketidakpastian statistik.
3. Ketidakpastian model, adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan anggapan dari jenis struktur yang dimodelkan secara matematis dalam bentuk deterministik atau probabilistik. Ketidakpastian yang terjadi di sini hasil dari penyederhanaan dengan memakia bermacam-macam

asumsi, kondisi batas yang tidak diketahui, dan diketahuinya pengaruh perubah yang lain serta hubungan perubah-perubah yang tidak tercakup dalam model.

Dalam konsep keandalan suatu masalah diformulasikan dalam hubungan permintaan dan persediaan. Peluang terjadinya kegagalan suatu rancangan struktur di mana penyediaan tidak lagi mampu memenuhi permintaan, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_f = P[R - L < 0] = P[Z < 0] \quad (2.18)$$

Dengan rumus ini dapat dihitung harga keandalan struktur tersebut, yaitu:

$$K = 1 - P_f \quad (2.19)$$

Dimana

R = notasi untuk kekuatan

L = notasi beban

Z = notasi ambang keselamatan, selisih antara kekuatan dengan beban

Dalam suatu analisa keandalan yang terpenting adalah penentuan batas keselamatan, SM (*Safety Margin*) atau bisa juga dikatakan sebagai penetapan moda kegagalan sesuai dengan permasalahan yang akan ditinjau segi keandalan strukturnya.

Banyak metode yang dipakai dalam analisa keandalan, diantaranya adalah metode MVFOSM, metode AFOSM, Simulasi Monte Carlo dan sebagainya. Dalam tugas akhir ini akan dipakai metode AFOSM untuk mencari keandalan kekuatan struktur monopod. Metode ini dipilih karena lebih baik dibandingkan dengan metode MVFOSM. Pada metode MVFOSM dijumpai beberapa kekurangan antara lain:

- a. Jika fungsi batas $g(.)$ tidak linier dan linierisasi pada nilai mean dari x_i , kesalahan mulai terjadi pada penambahan jarak dari titik linierisasi karena pengabaian orde yang lebih tinggi.
- b. Metode ini tidak mampu menghasilkan nilai yang sama untuk pengambilan fungsi batas yang berbeda pada persoalan yang sama. Jadi indeks keandalan tergantung pada bagaimana formulasi fungsi keadaan batas.
- c. Pada metode MVFOSM indeks keandalan β dapat dihubungkan dengan probabilitas kegagalan jika variabel x_i terdistribusi normal.

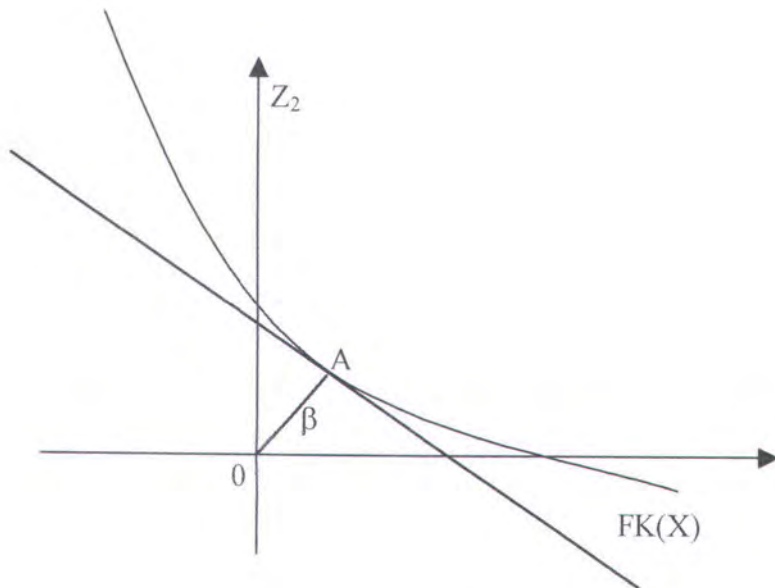
Metode AFOSM dan Metode Simulasi Montecarlo dapat dipakai dalam persamaan fungsi kinerja $FK(X)$ linier maupun non linier. Metode AFOSM akan berfungsi baik apabila fungsi kinerja $FK(X)$ linier atau sedikit non linier. Apabila fungsi kinerja sangat non linier maka metode Simulasi Montecarlo merupakan alternatif metode yang lebih bermanfaat[rosyid,D.M.(1996)].

2.5.1. Metode Advanced First Order Second Moment(AFOSM)

AFOSM adalah merupakan pengembangan metode MVFOSM yang dilakukan oleh Hasofer dan Lind. Pengembangannya adalah variabel x_i atau variabel fungsi batas ditransformasikan menjadi perubah dasar baku (Z_i) yang memiliki distribusi normal standart:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu_{x_i}}{\sigma_{x_i}} \quad (2.20)$$

Indeks keandalan dalam metode AFOSM ini didefinisikan sebagai jarak terpendek dari titik pusat origin 0 ke permukaan bidang kegagalan pada sistem koordinat variabel-variabel normal standart.



Gambar 2.2 fungsi batas tak linier

Untuk memperoleh nilai A dapat dilakukan dengan menyelesaikan persamaan-persamaan berikut ini:

$$FK(\beta\alpha_1, \beta\alpha_2, \dots, \beta\alpha_n) = 0$$

$$\alpha_i = -\frac{1}{K} \frac{\delta(FK)}{\delta z_i}(\beta\alpha), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$K = \left[\sum_{j=1}^n \left(\frac{\delta(FK)}{\delta z_j} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (2.21)$$

Sedangkan untuk lebih jelasnya prosedur AFOSM dapat diringkas sebagai berikut:

1. Tentukan failure function untuk moda kegagalan yang ditinjau.

2. Karakteristik perubah-perubah dasarnya, X_i
3. Transformasikan perubah-perubah dasar tersebut menjadi perubah acak baku, Z_i
4. Definisikan unit vektor α_i sehingga $Z_i = \beta\alpha_i$
5. Ditulis kembali M sebagai sebagai fungsi dari $\beta\alpha_i$
6. Dengan menggunakan persamaan M dan $\beta\alpha_i$ dan dua persamaan berikut

$$\alpha_i = -\frac{1}{K} \frac{\delta(FK)}{\delta z_i}(\beta\alpha), I = 1, 2, \dots, n$$

$$K = \left[\sum_{j=1}^n \left(\frac{\delta(FK)}{\delta z_j} \right)^2 \right]^{0.5}$$

7. tentukan $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ percobaan dan β percobaan

α = faktor kepekaan

β = indeks keandalan

M = margin keselamatan

8. Hitung α_i dan $\beta\alpha_i$ yang baru dengan proses itersasi sampai konvergen.

2.5.2. Metode Simulasi Montecarlo

Gagasan dasar Metode Simulasi Montecarlo yaitu sampel numerik dengan bantuan Random Number Generator. Diambil sampel untuk setiap x_i dari sebuah populasi X_i , kemudian dimasukkan kedalam fungsi kinerja $FK(X)$, dan harga $FK(X)$ kemudian dihitung, setiap kali $FK(X) < 0$ maka dianggap sistem atau

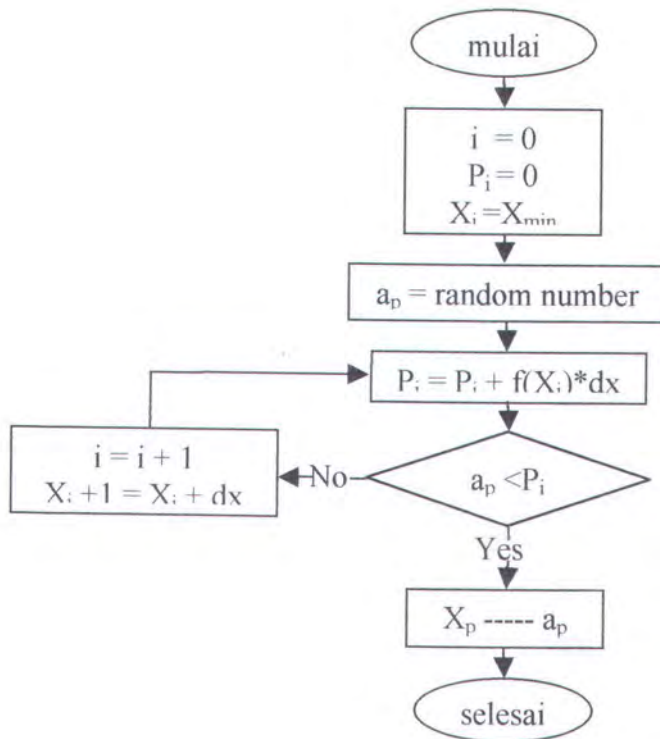
komponen yang ditinjau gagal[Thoft dan Murotsu,(1986)]. Sebagai contoh misalnya untuk sampel sebesar N , kemudian didapat hasil $FK(X) < 0$ sebanyak n kali, maka besarnya kegagalan sistem atau komponen yang ditinjau adalah sebagai berikut:

$$P_g = n/N$$

Permasalahan utama dalam Simulasi Montecarlo adalah bagaimana angka acak yang dikeluarkan oleh Random Number Generator(RNG) ditransformasikan menjadi besaran fisis yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang perubah dasar tersebut. Hal ini disebabkan angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki fungsi kerapatan peluang uniform, sedangkan perubah dasar dalam $FK(X)$ seringkali tidak demikian(terdistribusi secara merata, lognormal, weibull, atau reyleigh, dan sebagainya).

Transformasi a_p (angka acak) menjadi X_p dilakukan secara numerik dengan prosedur sebagai berikut:

1. Untuk X_p dengan fungsi kerapatan peluang yang diketahui, bagi rentang X_p menjadi i interval yang sama sepanjang dx .
2. Hitung luas tiap pias(ini akan menghasilkan peluang X_p memiliki harga dalam interval i , yaitu sebesar P_i) dengan mengalikan interval dx dengan tinggi fungsi kerapatan peluang pada x_i . Untuk setiap a_p yang keluar dari RNG, maka a_p diperbandingkan dengan batas interval yang sesuai. Apabila $P_i < a_p < P_{i+1}$, maka a_p ditransformasikan sebagai X_p . untuk lebih jelasnya transformasi dari a_p menjadi X_p dapat dilihat dalam diagram alir berikut:



Gambar 2.3. Diagram alir transformasi a_p menjadi X_p

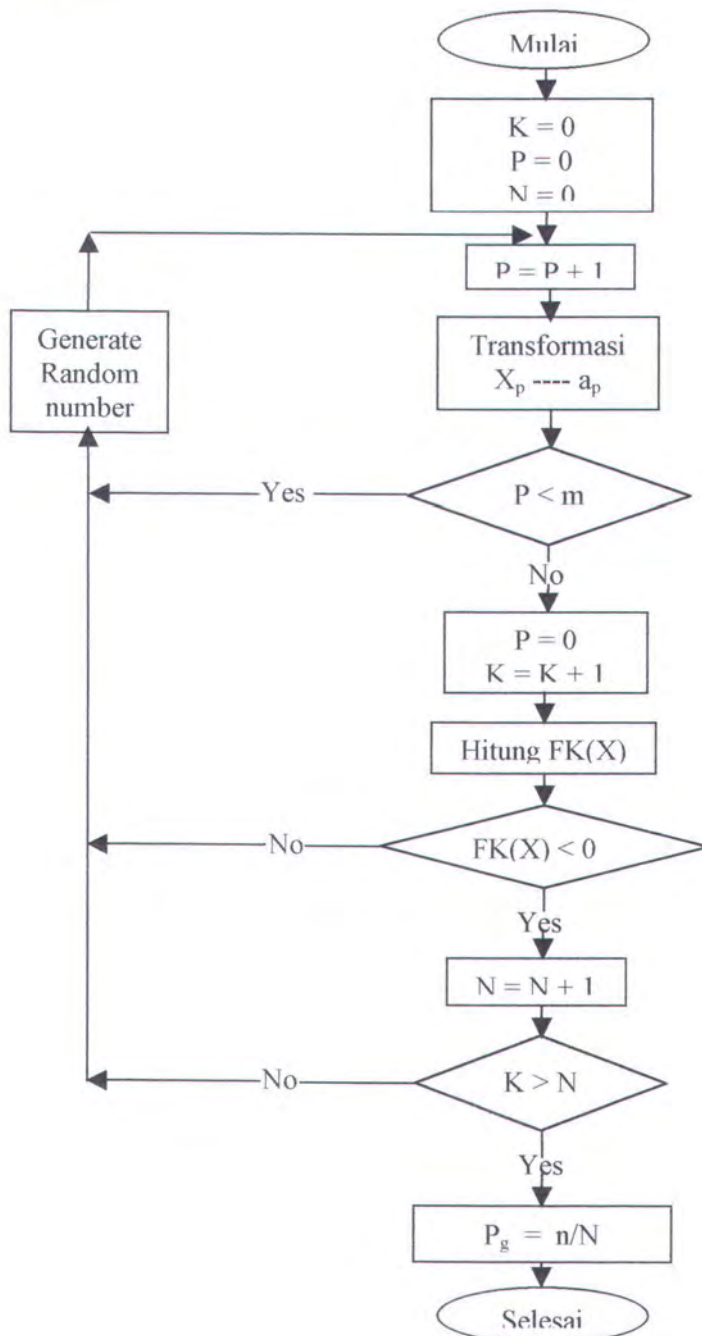
Secara singkat perhitungan keandalan dengan memakai metode Simulasi Montecarlo dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sejumlah angka acak a_p , $p = 1, 2, 3, \dots, m$, dengan fungsi kerapatan peluang uniform akan dikeluarkan oleh RNG untuk kemudian ditransformasikan menjadi X_p , $p = 1, 2, 3, \dots, m$.
2. $FK(X)$ dihitung.
3. Penghitungan nomor eksperimen dimasukkan ke dalam K .
4. Apabila $FK(X)$ lebih besar atau sama dengan nol maka eksperimen dilanjutkan, sedang apabila $FK(X)$ kurang dari nol, maka ini dicatat dan disimpan dalam n .
5. eksperimen dilanjutkan sampai $K = N$.

6. Peluang kegagalan(P_g) sistem atau komponen dihitung sebagai n/N dan keandalannya(P_k) adalah:

$$P_k = 1 - P_g = 1 - n/N$$

Untuk lebih jelasnya Simulasi Montecarlo dapat dilihat dalam diagram alir berikut ini:



Gambar 2.4 Algoritma Simulasi Montecarlo

Dalam diagram alir tersebut K adalah penghitung(*counter*) jumlah eksperimen atau sampling, m adalah jumlah perubah dasar dalam FK(X), P adalah indeks perubah dasar ke X_p , n adalah penghitung untuk $FK(X) < 0$, dan N adalah jumlah eksperimen maksimum yang akan dilakukan.



BAB III

APLIKASI ANALISA KEANDALAN DENGAN METODE AFOSM UNTUK KASUS ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE MONOPOD

BAB III

APLIKASI ANALISA KEANDALAN DENGAN METODE AFOSM UNTUK KASUS ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE MONOPOD

3.1. DATA MONOPOD

Untuk perhitungan-perhitungan analisa keandalan struktur monopod dengan metode AFOSM maka diperlukan suatu data-data tentang anjungan lepas pantai tipe monopod tersebut. Dalam tugas akhir ini dipakai anjungan lepas pantai tipe monopod milik PT ARCO. Anjungan tersebut adalah monopod LL-4A ARJUNA yang beroperasi di wilayah perairan laut Jawa pada koordinat $5^{\circ} 54' 55''$ lintang selatan dan $107^{\circ} 43' 52''$ bujur timur. Data-data tersebut adalah sebagai berikut:

A. Data Struktur Monopod LL-4A Arjuna

- Massa platform = 27211,0922 lbm = 12342,8705 Kg
- Massa monopod(caison) = 49979,9224 lbm = 22670,7441 Kg
- Panjang Caison dari Mudlin = 127 ft = 38,71 m
- Kedalaman laut = 97 ft = 29,58 m
- Diameter Luar Caison = 48 in = 1,2192 m
- Diameter Dalam Caison = 45 in = 1,143 m
- Coefisien Drag = 0.7
- Coefisien Inersia(massa tambah) = 1,2

- Jenis Material = ASTM A-36
- Tegangan Luluh = 36 ksi = 250 Mpa
- Modulus Elastisitas = 2×10^5 MPa
- Ukuran deck = 150 ft² = 13,94 m²
- Beban Hidup = @ 200 lbs/sq. ft = 9,6 kN/m²
- Beban mati = @ 200 lbs/sq. ft = 9,6 kN/m²

B. Data Lingkungan

Data lingkungan tempat beroperasinya Monopod LL-4A ARJUNA adalah:

- Tinggi Gelombang = 16,4 ft = 5 m
- Periode Gelombang = 7,1 detik
- Panjang Gelombang = 258,75 ft = 78,87 m
- Kecepatan Angin = 48 mph = 1.22 m/s
- Kecepatan Arus di Permukaan = 2.47 ft/sec = 0.75 m/s

3.2. PERHITUNGAN PEMBEBANAN PADA KAKI STRUKTUR MONOPOD

Perhitungan pembebanan yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut:

3.2.1. Beban Aksial pada Monopod

Beban aksial yang bekerja pada struktur monopod antara lain sebagai berikut:

- a. Berat monopod = 226,7 kN

b. Berat platform(<i>deck struktur</i>)	= 123,4	kN
Dead Load(<i>incl. equip, appurt, ext. deck,et</i>)	= 133,8	kN
c. Live load	= 133,8	kN
d. Boad landing(est. 3 kips)	= 13,3	kN
e. Dead load of grout and casing inside conductor	= 447	kN
Total = 1093,6		kN

Jadi besarnya beban gaya aksial yang bekerja pada struktur monopod adalah sebesar = 1093.6 kN.

3.2.2. Luas Penampang

Besarnya luas penampang melintang(A) dari monopod adalah:

$$\begin{aligned}
 A &= 0,25\pi (D^2 - d^2) \quad , D = \text{diameter luar,dan } d = \text{diameter dalam.} \\
 &= 0,25\pi[(1,219)^2 - (1,143)^2] \\
 &= 0,141 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Jadi besarnya luas penampang melintang kaki monopod = 0,141 m²

3.2.3. Tegangan Aksial

Besanya tegangan aksial(f_a) yang bekerja pada struktur monopod adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 f_a &= P/A \\
 &= 7,735 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

3.2.4. Modulus Irisan Elastis

Modulus irisan elastis(S) dirumuskan sebagai momen inersia dibagi dengan nilai jarak terjauh dari sumbu netral. Untuk kasus ini harga $c = 0,6\text{m}$

$$S = I/c. \quad (3.1)$$

$$I = \frac{1}{4}\pi(D^4 - d^4)$$

$$I = 0,25\pi[(1,219)^4 - (1,143)^4]$$

$$I = 0,394 \text{ m}^4$$

$$S = 0,646 \text{ m}^3$$

3.2.5. Tegangan Aksial Ijin

Besarnya tegangan aksial yang diijinkan bekerja pada struktur monopod adalah sebagai berikut:

Tegangan luluh(F_y) material baja ASTM A36 adalah sebesar 36 Ksi atau 250 Mpa

Besarnya tegangan aksial ijin(F_a), yaitu:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{KL}{r}\right)}{8C_c} - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)}{8C_c^3}}$$

lihat persamaan 2.2.

$$F_a = 141.64 \text{ MPa}$$

3.2.6. Momen Bending

Besarnya momen bending(M) yang bekerja pada struktur monopod adalah sebagai berikut:

A. Momen Bending Akibat Beban Angin

Besarnya gaya angin dapat dihitung dengan persamaan berikut: (API RP-2A)

$$P_{\text{angin}} = 0.00256 V^2 A C_s (10^{-3}) \quad \text{kips}$$

$$P_{\text{angin}} = 0,0473 V^2 C_s A \quad \text{metrik} \quad (3.2)$$

$$P_{\text{angin}} = 5,34 \quad \text{kN}$$

di mana:

V = kecepatan angin

C_s = koefisien bentuk efektif

A = luas penampang yang tegak lurus arah angin

Titik tangkap gaya angin dianggap bekerja pada ketinggian deck dan diukur terhadap garis mudline = 127 ft = 38,771 m

$$\begin{aligned} \text{Jadi besarnya momen bending akibat gaya angin}(M_1) &= P_{\text{angin}} \times \text{titik tangkap gaya} \\ &= 24,56 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

B. Momen Bending Akibat Beban Gelombang

Besarnya gaya gelombang yang bekerja pada struktur monopod dapat dihitung dengan persamaan berikut: (API RP-2A)

$$F = F_D + F_I = C_D \frac{w}{2g} D U |U| + C_M \frac{w \pi}{g 4} D^2 \frac{dU}{dt} \quad (3.3)$$

di mana:

F_D = gaya drag

F_I = gaya inersia

g = percepatan gravitasi bumi

C_D = Koefisien drag(0,7)

C_I = Koefisien Inersia(1,2)

D = Diameter luar silinder

u = kecepatan horizontal partikel air laut

Sedangkan besarnya momen bending akibat gaya gelombang sama dengan besarnya gaya gelombang dikalikan dengan jarak titik tangkap gaya gelombang.

$$M(2) = \int_{-z}^0 \left(\frac{1}{2} C_D \rho D |u| u + \frac{1}{4} \rho C_I \pi D^2 \dot{u} \right) (z + h) dz \quad (3.4)$$

$$M(2) = 3683,19 \text{ kN.m}$$

di mana:

$M(2)$ = Momen bending akibat gelombang air laut

Z = kedalaman air laut

H = ketinggian SWL dari mudline

C. Momen Bending Akibat Beban arus laut

Besarnya beban arus dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{\text{arus}} = \int_0^l \frac{1}{2} C_D \rho D V^2 \left(\frac{z}{h} \right)^{\frac{2}{7}} dz \quad (3.5)$$

sedangkan momen akibat arus laut adalah:

$M(3) = F_x$ titik tangkap gaya

$$M(3) = \int_0^l \frac{1}{2} C_D \rho D V^2 \left(\frac{z}{h} \right)^{2/7} z dz \quad (3.6)$$

$$M(3) = 624,22 \text{ kN.m}$$

Dengan demikian besarnya momen bending resultan yang bekerja pada struktur monopod adalah sebagai berikut:

$$M = M(1) + M(2) + M(3) = 4,332 \text{ MN.m}$$

3.2.7. Perhitungan Tegangan Bending Ijin

Besarnya tegangan bending yang diijinkan bekerja pada struktur monopod dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_b = 0.75 F_y \quad (3.7)$$

$$= 0,75 \times 250 \text{ MPa}$$

$$= 187,5 \text{ Mpa}$$

3.3. PENETAPAN MODA KEGAGALAN ATAU KEADAAN BATAS

Dalam tugas akhir ini titik yang ditinjau adalah kaki struktur yang berada pada tumpuan jepit, yaitu pada mudline. Sedangkan persamaan moda kegagalannya adalah apabila perbandingan antara beban aksial dengan beban ijin aksialnya ditambah dengan perbandingan antara beban momen bending dengan beban ijin momen bendingnya kurang dari atau sama dengan satu. API RP-2A memberikan batasan besarnya beban kombinasi, yaitu:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (3.8)$$

Persamaan tersebut kemudian dijadikan sebagai persamaan moda kegagalan struktur monopod terhadap beban kombinasi. Persamaan moda kegagalannya adalah sebagai berikut:

$$SM \leq 1 - \frac{f_a}{F_a} - \frac{f_b}{F_b} \quad (3.9)$$

di mana:

SM = moda kegagalan yang ditinjau

f_a = Tegangan tekan aksial yang bekerja pada struktur monopod

F_a = tegangan tekan aksial yang diijinkan

f_b = Tegangan bending yang bekerja pada struktur monopod

F_b = Tegangan bending yang diijinkan bekerja pada struktur.

Moda kegagalan tersebut dijabarkan sebagai berikut:

$$f_a = P/A$$

$$f_b = M/S$$

Selanjutnya moda kegagalan tersebut dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\frac{P}{A.F_a} + \frac{M}{S.F_b} \leq 1 \quad (3.10)$$

$$\text{jadi } SM(\text{Safety Margin}) = 1 - \frac{P}{A.F_a} - \frac{M}{S.F_b}$$

di mana:

SM = Moda kegagalan

P	= Beban (gaya) aksial
A	= Luas penampang melintang
M	= Momen bending yang bekerja
S	= Modulus irisan elastis

3.4. PENENTUAN DAN KARAKTERISASI PERUBAH-PERUBAH DASARNYA

Seluruh komponen perubah dasar kekuatan dan pembebanan dianggap sebagai perubah dasar. Selanjutnya seluruhnya dari perubah dasar tersebut dimodelkan dengan fungsi distribusi peluang tertentu. Perubah-perubah dasar tersebut adalah sebagai berikut:

3.4.1. Beban Aksial yang Bekerja

Untuk menghitung besarnya tegangan aksial yang bekerja pada tumpuan jepit dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f_a = \frac{P}{A}$$



Di mana P adalah besarnya gaya yang bekerja pada deck ditambah dengan besarnya berat struktur kaki strukrur(caison), sedangkan A adalah besarnya luas penampang melintang caison. Distribusi peluang dari beban aksial adalah memakai pendekatan distribusi normal, maka distribusi gaya aksial dan luas penampang melintang memakai pendekatan distribusi normal.

3.4.2. Tegangan atau Beban Aksial yang Diijinkan

Untuk besarnya beban atau tegangan aksial ijin adalah memakai rumusan dari API, yaitu:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}{2 C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 \left(\frac{KL}{r} \right)}{8 C_c} + \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^3}{8 C_c^3}}$$

Distribusi peluang dari beban aksial ijin (F_a) adalah mengikuti distribusi normal maka besarnya tegangan luluh (F_y) juga memakai pendekatan distribusi normal.

3.4.3. Tegangan atau Beban Momen Bending

Besarnya beban momen tergantung dari besarnya beban gelombang yang bekerja pada struktur, beban angin dan beban arus. Besarnya beban momen dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{M1 + M2 + M3}{S}$$

Dalam hal ini yang menjadi perubah dasarnya adalah momen bending dan modulus irisan elastisnya. Distribusi peluang momen bending dan modulus irisan elastinya memakai pendekatan distribusi normal.

3.4.4. Tegangan atau Beban Momen Bending yang Diijinkan

Untuk besarnya momen bending maksimum yang diijinkan dipakai rumusan sebagai berikut:

$$F_b = 0.75 F_y$$

Distribusi peluang F_b mengikuti pendekatan distribusi peluang normal

Karakteristik perubah dasarnya dapat ditabelkan sebagai berikut:

Perubah Dasar	Cov	Mean	Tipe Distribusi
Gaya Aksial	20%	1.093 MN	Normal
Luas Penampang	10%	0.1409 m ²	Normal
Tegangan Ijin Aksial	10%	141.64 Mpa	Normal
Momen Bending	20%	4.4302 MN	Normal
Modulus Irisan Elastis	10%	0.6454 m ³	Normal
Tegangan Ijin Bending	10%	187.5 Mpa	Normal

Tabel 3.1. Karakterisasi perubah dasar

3.5. PERHITUNGAN KEANDALAN DENGAN METODE EDVANCED FIRST ORDER SECOND MOMENT

Perhitungan analisa keandalan dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Normalisasi perubah-perubah dasar

Normalisasi perubah-perubah dasar(P, A, F_a, M, S, F_b) sebagai deterministik:

- Besarnya gaya aksial

$$z_1 = \frac{P - \mu_P}{\sigma_P}$$

$$P = z_1 \sigma_p + \mu_p$$

atau $P = z_1 \sigma_1 + \mu_1$ (3.11)

- Luas Penampang melintang

$$z_2 = \frac{A - \mu_A}{\sigma_A}$$

$$A = z_2 \sigma_A + \mu_A$$

atau $A = z_2 \sigma_2 + \mu_2$ (3.12)

- Tegangan aksial ijin

$$z_3 = \frac{F_a - \mu_{F_a}}{\sigma_{F_a}}$$

$$F_a = z_3 \sigma_{F_a} + \mu_{F_a}$$

atau $F_a = z_3 \sigma_3 + \mu_3$ (3.13)

- Momen bending

$$z_4 = \frac{M - \mu_M}{\sigma_M}$$

$$M = z_4 \sigma_M + \mu_M$$

$$\text{atau } M = z_4 \sigma_4 + \mu_4 \quad (3.14)$$

- Modulus irisan elastis

$$z_5 = \frac{S - \mu_S}{\sigma_S}$$

$$S = z_5 \sigma_S + \mu_S$$

$$\text{atau } S = z_5 \sigma_5 + \mu_5 \quad (3.15)$$

- Tegangan Bending ijin

$$z_6 = \frac{F_b - \mu_{F_b}}{\sigma_{F_b}}$$

$$F_b = z_6 \sigma_{F_b} + \mu_{F_b}$$

$$\text{atau } F_b = z_6 \sigma_{F_b} + \mu_{F_b} \quad (3.16)$$

2. Fungsi bidang batas pada sistem koordinat

Untuk fungsi bidang batasnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$1 - \frac{f_a}{F_a} - \frac{f_b}{F_b} = 0 \quad (3.17)$$

Perubah-perubah dasar yang telah dinormalisasikan, kemudian disubstitusikan ke persamaan fungsi batas, yaitu:

$$F(z_1) = 1 - \frac{z_1\sigma_p + \mu_p}{(z_2\sigma_A + \mu_A)(z_3\sigma_{F_a} + \mu_{F_a})} - \frac{z_4\sigma_M + \mu_M}{(z_5\sigma_S + \mu_S)(z_6\sigma_{F_b} + \mu_{F_b})}$$

atau

$$F(z_i) = 1 - \frac{z_1\sigma_1 + \mu_1}{(z_2\sigma_2 + \mu_2)(z_3\sigma_3 + \mu_3)} - \frac{z_4\sigma_4 + \mu_4}{(z_5\sigma_5 + \mu_5)(z_6\sigma_6 + \mu_6)} \quad (3.18)$$

3. Menentukan unit vektor β sehingga $Z_i = \beta\alpha_i$

Perubah-perubah dasar yang telah dinormalisasi tersebut di atas kemudian ditulis dalam persamaan $\beta\alpha_i$, yaitu:

a. Beban aksial

$$P = z_1\sigma_1 + \mu_1 \quad \text{menjadi} \quad P = \beta\alpha_1\sigma_1 + \mu_1$$

b. Luas penampang

$$A = z_2\sigma_2 + \mu_2 \quad \text{menjadi} \quad A = \beta\alpha_2\sigma_2 + \mu_2$$

c. Beban aksial ijin

$$F_a = z_3\sigma_3 + \mu_3 \quad \text{menjadi} \quad F_a = \beta\alpha_3\sigma_3 + \mu_3$$

d. Momen bending

$$M = z_4\sigma_4 + \mu_4 \quad \text{menjadi} \quad M = \beta\alpha_4\sigma_4 + \mu_4$$

e. Modulus irisan elastis

$$S = z_5\sigma_5 + \mu_5 \quad \text{menjadi} \quad S = \beta\alpha_5\sigma_5 + \mu_5$$

f. Tegangan bending ijin

$$F_b = z_6 \sigma_{F_b} + \mu_{F_b} \text{ menjadi } F_b = \beta \alpha_6 \sigma_6 + \mu_6$$

4. Fungsi batas ditulis kembali sebagai fungsi dari $\beta \alpha_i$

$$F(\beta \alpha_i) = 1 - \frac{\beta \alpha_1 \sigma_1 + \mu_1}{(\beta \alpha_2 \sigma_2 + \mu_2)(\beta \alpha_3 \sigma_3 + \mu_3)} - \frac{\beta \alpha_4 \sigma_4 + \mu_4}{(\beta \alpha_5 \sigma_5 + \mu_5)(\beta \alpha_6 \sigma_6 + \mu_6)} \quad (3.19)$$

5. Menghitung indeks keandalan

Perhitungan indeks keandalan dapat dilakukan dengan menyelesaikan persamaan berikut ini:

$$1 - \frac{\beta \alpha_1 \sigma_1 + \mu_1}{(\beta \alpha_2 \sigma_2 + \mu_2)(\beta \alpha_3 \sigma_3 + \mu_3)} - \frac{\beta \alpha_4 \sigma_4 + \mu_4}{(\beta \alpha_5 \sigma_5 + \mu_5)(\beta \alpha_6 \sigma_6 + \mu_6)} = 0 \quad (3.20)$$

persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$1 = \frac{\beta \alpha_1 \sigma_1 + \mu_1}{(\beta \alpha_2 \sigma_2 + \mu_2)(\beta \alpha_3 \sigma_3 + \mu_3)} + \frac{\beta \alpha_4 \sigma_4 + \mu_4}{(\beta \alpha_5 \sigma_5 + \mu_5)(\beta \alpha_6 \sigma_6 + \mu_6)}$$

Dari persamaan tersebut di atas dapat dihitung besarnya harga β

$$\begin{aligned}
\beta = & (\mu_1\mu_5\mu_6 + \mu_2\mu_3\mu_4 - \mu_2\mu_3\mu_5\mu_6)/[\beta^3(\alpha_2\alpha_3\alpha_5\alpha_6\sigma_2\sigma_3\sigma_5\sigma_6) + \\
& \beta^2(\alpha_2\alpha_3\alpha_5\sigma_2\sigma_3\sigma_5\mu_6 + \alpha_2\alpha_3\alpha_6\sigma_2\sigma_3\sigma_6\mu_5 + \alpha_2\alpha_5\alpha_6\sigma_2\sigma_5\sigma_6\mu_3 + \\
& \alpha_3\alpha_5\alpha_6\sigma_3\sigma_5\sigma_6\mu_4 - \alpha_1\alpha_5\alpha_6\sigma_1\sigma_5\sigma_6 - \alpha_2\alpha_3\alpha_4\sigma_2\sigma_3\sigma_4) + \\
& \beta(\alpha_2\alpha_3\sigma_2\sigma_3\mu_5\mu_6 + \alpha_2\alpha_5\sigma_2\sigma_5\mu_3\mu_6 + \alpha_2\alpha_6\sigma_2\sigma_6\mu_3\mu_5 + \\
& \alpha_3\alpha_5\sigma_3\sigma_5\mu_2\mu_6 + \alpha_2\alpha_6\sigma_2\sigma_6\mu_2\mu_5 + \alpha_5\alpha_6\sigma_5\sigma_6\mu_2\mu_3 - \alpha_1\alpha_5\sigma_1\sigma_5\mu_6 - \\
& \alpha_1\alpha_6\sigma_1\sigma_6\mu_5 - \alpha_5\alpha_6\sigma_5\sigma_6\mu_1 - \alpha_2\alpha_4\sigma_2\sigma_4\mu_3 - \alpha_3\alpha_4\sigma_3\sigma_4\mu_2 - \\
& \alpha_2\alpha_3\sigma_2\sigma_3\mu_4) + \alpha_2\sigma_2\mu_3\mu_5\mu_6 + \alpha_3\sigma_3\mu_2\mu_5\mu_6 + \alpha_5\sigma_5\mu_2\mu_3\mu_6 + \\
& \alpha_6\sigma_6\mu_2\mu_3\mu_5 - \alpha_1\sigma_1\mu_5\mu_6 - \alpha_5\sigma_5\mu_1\mu_6 - \alpha_6\sigma_6\mu_1\mu_5 - \alpha_4\sigma_4\mu_2\mu_3 - \\
& \alpha_2\sigma_2\mu_3\mu_4 - \alpha_3\sigma_3\mu_2\mu_4]
\end{aligned}
\tag{3.21}$$

$$\alpha_j = \frac{1}{K} \left(\frac{\delta(SM)}{\delta z_j} \right) \quad \text{dimana } j=1,2,...,n
\tag{3.22}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{K} \left[\frac{\sigma_1}{(z_2\sigma_2 + \mu_2)(z_3\sigma_3 + \mu_3)} \right]$$

$$\alpha_2 = -\frac{1}{K} \left[\frac{z_1\sigma_1 + \mu_1}{\sigma_2(z_3\sigma_3 + \mu_3) [(z_2\sigma_2 + \mu_2)(z_3\sigma_3 + \mu_3)]^2} \right]$$

$$\alpha_3 = -\frac{1}{K} \left[\frac{z_1\sigma_1 + \mu_1}{\sigma_3(z_2\sigma_2 + \mu_2) [(z_2\sigma_2 + \mu_2)(z_3\sigma_3 + \mu_3)]^2} \right]$$

$$\alpha_4 = \frac{1}{K} \left[\frac{\sigma_4}{(z_5\sigma_5 + \mu_5)(z_6\sigma_6 + \mu_6)} \right]$$

$$\alpha_5 = -\frac{1}{K} \left[\frac{z_4\sigma_4 + \mu_4}{\sigma_5(z_6\sigma_6 + \mu_6) [(z_5\sigma_5 + \mu_5)(z_6\sigma_6 + \mu_6)]^2} \right]$$



BAB IV

ANALISA HASIL PERHITUNGAN KEANDALAN

BAB IV

ANALISA HASIL PERHITUNGAN KEANDALAN

4.1. PERHITUNGAN KEANDALAN

Untuk melakukan uji piranti lunak yang telah dikembangkan maka dipakai data-data struktur monopod LL-4A ARJUNA. Berdasarkan data-data anjungan tipe monopod LL 4A ARJUNA milik PT ARCO INDONESIA diperoleh hasil perhitungan dan karakterisasi perubah dasar sebagai berikut:

Perubah	Cov(%)	Mean	Tipe
Gaya Aksial (MN)	20	1.093	Normal
Luas Penampang (m)	10	0.1409	Normal
Tegangan Ijin Aksial (MPa)	10	141.64	Normal
Momen Bending (MN.m)	20	4.430	Normal
Modulus Irisan elastis (m3)	10	0.6454	Normal
Tegangan Bending Ijin (MPa)	10	187.5	Normal

Tabel 4.1. Karakterisasi perubah dasar

Piranti lunak yang dibuat khusus untuk analisa keandalan terhadap kekuatan dipakai untuk melakukan running program dengan input seperti pada tabel di atas.

Hasil running programnya dapat dilihat pada tabel berikut ini

	terkaan awal	iterasi ke1	iterasi ke2	iterasi ke3	iterasi ke4	iterasi ke5	iterasi ke6	iterasi ke7
beta	1	5.06906331	6.10992924	6.52788089	6.68762687	6.75015214	6.77480805	6.78455392
a1	1	0.19087636	0.03349824	0.01475562	0.01140584	0.01032710	0.00993063	0.00977800
a2	1	-0.07391597	-0.01271045	-0.00452136	-0.00337247	-0.00303513	-0.00291303	-0.00286623
a3	-1	-0.06047670	-0.01280041	-0.00452111	-0.00337247	-0.00303513	-0.00291303	-0.00286623
a4	1	0.51153212	0.16971694	0.11789114	0.10354443	0.09818870	0.09614563	0.09534775
a5	1	-0.64419107	-0.66633732	-0.72364657	-0.68445711	-0.71992255	-0.68873663	-0.71728519
a6	-1	-0.52706542	-0.72508152	-0.67983727	-0.72155677	-0.68698285	-0.71852786	-0.69014399
selisih beta	1	4.06906331	1.04086593	0.41795165	0.15974597	0.06252528	0.02465591	0.00974587

Tabel 4.2.a. Hasil iterasi Indeks keandalan

	iterasi ke8	iterasi ke9	iterasi ke10	iterasi ke11	iterasi ke12	iterasi ke13	iterasi ke14
beta	6.78839714	6.78990082	6.79047839	6.79069095	6.79076108	6.79077690	6.79077305
a1	0.00971843	0.00969521	0.00968629	0.00968300	0.00968191	0.00968166	0.00968171
a2	-0.00284799	-0.00284089	-0.00283816	-0.00283715	-0.00283681	-0.00283673	-0.00283674
a3	-0.00284799	-0.00284089	-0.00283816	-0.00283715	-0.00283681	-0.00283673	-0.00283674
a4	0.09503573	0.09491485	0.09486931	0.09485328	0.09484866	0.09484829	0.09484937
a5	-0.69135822	-0.71512688	-0.69342058	-0.71331870	-0.69512593	-0.71180031	-0.69654922
a6	-0.71615735	-0.69244102	-0.71418330	-0.69431220	-0.71252638	-0.69586945	-0.71113497
selisih beta	0.00384321	0.00150368	0.00057757	0.00021256	0.00007014	0.00001581	-0.00000385

Tabel 4.2.b. Hasil iterasi indeks keandalan(lanjutan tabel 4.2.a.)

Pada tabel di atas terlihat bahwa harga indeks keandalan hasil iterasi adalah sebesar 6,79. Untuk mendapatkan harga keandalannya dapat dilihat secara langsung dari program atau dihitung dengan memakai MS Excel. Cara lain dapat dilakukan dengan memplotkan harga indeks keandalan pada tabel distribusi normal kumulatif untuk mendapatkan peluang kegagalan. Kemudian nilai keandalannya adalah satu dikurangi peluang kegagalannya.

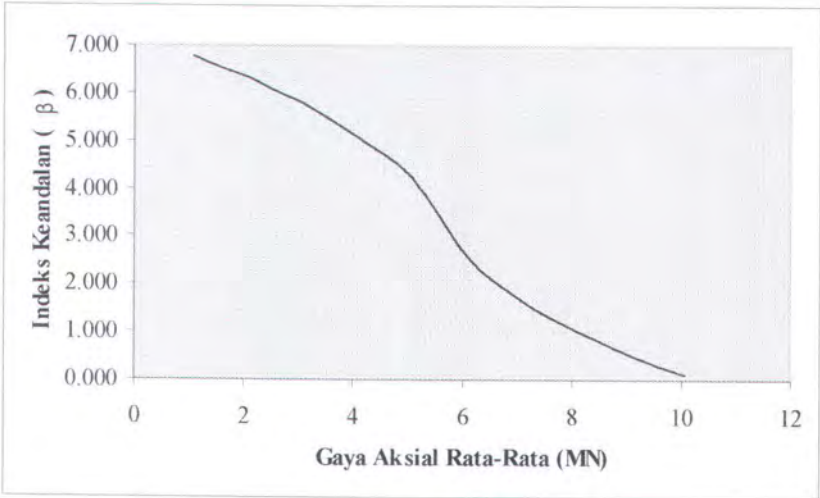
Untuk indeks keandalan 6,79 maka nilai peluang kegagalan sebesar 6,00597E-12 dan keandalannya sebesar 100 %. Selanjutnya akan dilakukan iterasi untuk nilai perubah dasar yang berbeda. Di sini akan dicoba dua kasus, kasus yang pertama adalah nilai beban gaya aksialnya dinaikkan setiap satu MN dan kondisi perubah dasar yang lain tetap. Kasus kedua, ukuran diameter kaki struktur diubah. Pada kasus kedua diameter luar yang diubah sedangkan besarnya diameter dalam tetap. Perubahan ukuran diameter ini menyebabkan perubahan pada ukuran luas penampang dan dan harga perubah-perubah dasarnya.

Pada kasus yang pertama nilai beban gaya aksial rata-ratanya dinaikkan setiap 1000 kN atau 1MN untuk setiap running. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Gaya Aksial Rata-rata	Harga β	Peluang Gagal	Keandalan
1.0706	6.780	6.04E-12	1
2.0706	6.340	1.15E-10	1
3.0706	5.790	3.53E-09	1
4.0706	5.100	1.7E-07	0.9999998
5.0706	4.239	1.13E-05	0.9999887
6.0706	2.609	0.00454	0.9954596
7.0706	1.670	0.04746	0.9525403
8.0706	1.051	0.146629	0.8533707
9.0706	0.53900	0.294943	0.7050566
10.0706	0.09950	0.460371	0.5396294

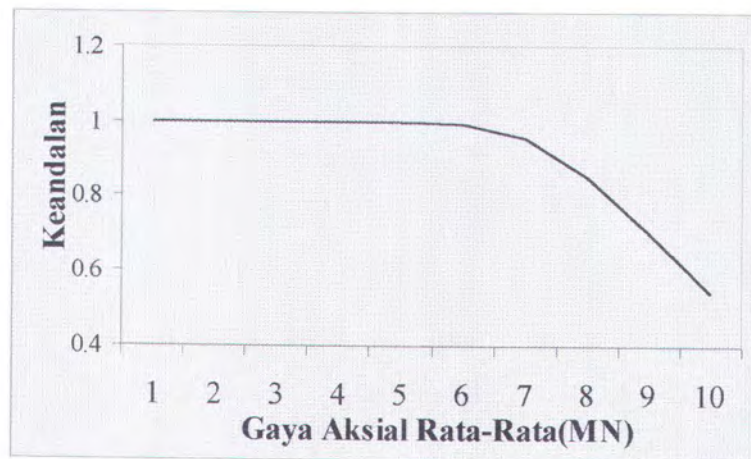
Tabel 4.3. Perhitungan indeks dan keandalan

Dari perhitungan di atas dapat dibuat grafik yang menyatakan hubungan antara gaya aksial rata-rata dengan indeks keandalan dan gaya aksial rata-rata terhadap peluang keandalan, dan sebagainya. Tabel tersebut dapat dilihat sebagai berikut:



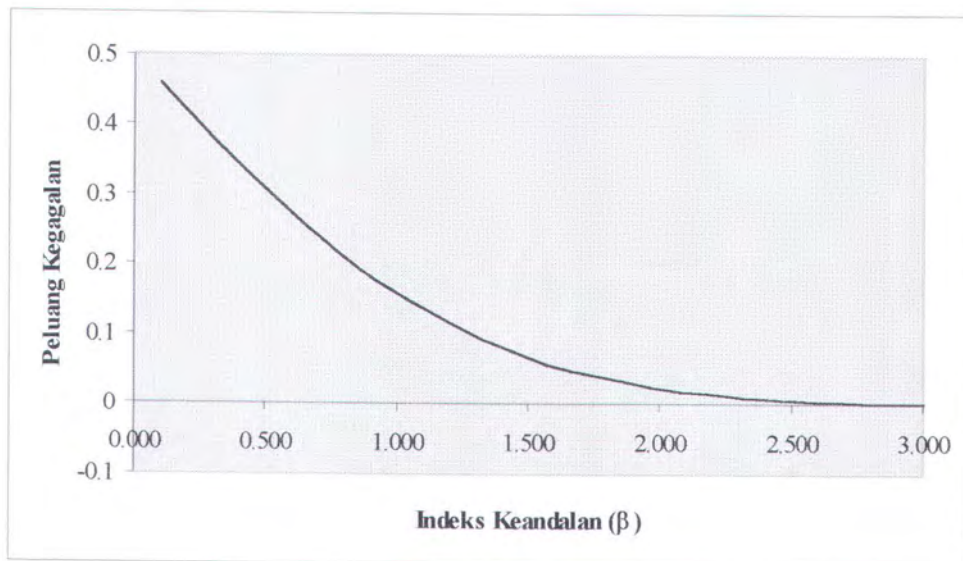
Gambar 4.1.Grafik hubungan antara gaya aksial rata-rata dengan harga β

Hubungan antara gaya aksial rata-rata dengan keandalannya adalah:



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Gaya Aksial rata-rata dan Keandalan

Sedangkan grafik hubungan antara indeks keandalan dengan peluang kegagalannya dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



Gambar 4.3. Hubungan antara Indeks Keandalan dan peluang Kegagalan

Untuk kasus kedua akan dilakukan pengujian dengan nilai diameter dalam tetap dan diameter luarnya yang berubah, yaitu 48 in, 47 in, dan 46. Perubahan

pada ukuran diameter akan mempengaruhi nilai perubah dasar yang lain,

Perhitungan selengkapnya seperti pada tabel berikut:

Perubah Dasar	COV(%)	Mean1	Mean2	Mean3	Tipe Distribusi
Gaya Aksial (MN)	20	1.093	1.093	1.093	Normal
Luas Penampang(m ²)	10	0.141	0.039	0.045	Normal
Tegangan Ijin Aksial(Mpa)	10	141.64	141.64	141.64	Normal
Momen Bending(MN.m)	20	4.430	4.281	4.227	Normal
Modulus Irisan Elastis(m ³)	10	0.645	0.428	0.207	Normal
Tegangan Ijin Bending (Mpa)	10	187.5	187.5	187.5	Normal

Tabel 4.4. nilai perubah dasar untuk diameter 48,47,46 in

Keterangan:

Mean1 = Nilai perubah-perubah dasar untuk diameter luar 48 in.

Mean2 = Nilai perubah-perubah dasar untuk diameter luar 47 in.

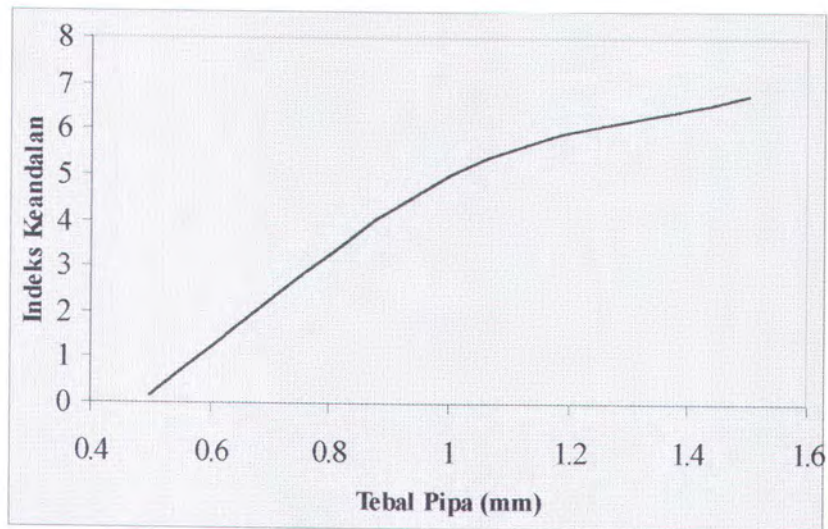
Mean3 = Nilai perubah-perubah dasar untuk diameter luar 46 in.

Untuk data seperti tersebut di atas kemudian dihitung indeks keandalan dan keandalan,yaitu:

D(in)	d(in)	t(m)	β	Keandalan
48	45	1.5	6.74	1
47	45	1	5.012	1
46	45	0.5	0.174	0.569067

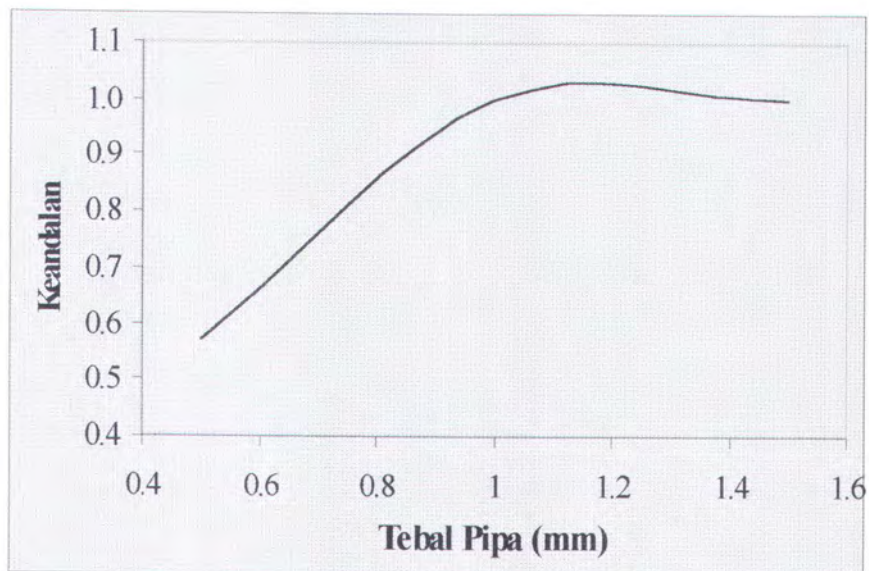
Tabel 4.5. Tabel perhitungan iterasi β dan keandalannya

Tabel tersebut apabila dibuat dalam bentuk grafik seperti tampak pada gambar sebagai berikut:



Gambar 4.4. Grafik tebal pipa dan indeks keandalan

Sedangkan grafik hubungan antara tebal pipa dengan keandalannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5. Grafik hubungan tebal pipa dengan keandalan

Perubahan gaya aksial rata-rata digunakan juga dalam memberikan input running dalam simulasi Montecarlo. Nilai yang diperoleh dari running program simulasi montecarlo akan berfungsi sebagai pembanding perhitungan dengan

metode AFOSM. Hasil perhitungan yang dilakukan dengan Simulasi Montecarlo adalah sebagai berikut:

gaya aksial rata-rata	Montecarlo	
	peluang kegagalan	keandalan
5.0706	0.16198	0.83802
6.0706	0.19474	0.80526
7.0706	0.22991	0.77009
8.0706	0.26413	0.73587
9.0706	0.303	0.697
10.0706	0.34057	0.65943

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan dengan simulasi Montecarlo.

Selanjutnya dibuat tabel perbandingan antara perhitungan dengan simulasi Montecarlo dengan iterasi metode AFOSM,yaitu:

gaya aksial rata-rata	Montecarlo		AFOSM	
	peluang kegagalan	keandalan	peluang kegagalan	keandalan
5.0706	0.16198	0.83802	1.130E-05	0.999989
6.0706	0.19474	0.80526	0.0045404	0.995460
7.0706	0.22991	0.77009	0.0474597	0.952540
8.0706	0.26413	0.73587	0.1466293	0.853371
9.0706	0.30300	0.69700	0.2949434	0.705057
10.0706	0.34057	0.65943	0.4603706	0.539629

Tabel 4.7. Hasil perhitungan dengan simulasi Montecarlo dan AFOSM

4.2. ANALISA HASIL PERHITUNGAN

Pada kedua kasus seperti tersebut di atas dapat terlihat bahwa apabila nilai atau harga perubah dasar dalam hal ini berupa beban gaya aksial dinaikkan maka terlihat pula penurunan indeks keandalannya. Dalam tabel 4.3. terlihat bahwa saat beban gaya aksial dibawah 4.0706 MN maka keandalannya mencapai 100%. Setelah mencapai 5.0706 MN maka keandalannya mulai turun, bahkan pada saat beban gaya aksialnya mencapai 10,0706 MN maka keandalannya tinggal 54%.

Untuk kasus kedua keandalan untuk struktur dengan diameter luar 48 in dan 47 in memiliki nilai 100 % sedangkan untuk diameter luar sebesar 46 in maka keandalannya turun menjadi 57 %. Dengan demikian ukuran diameter dan ketebalan pipa mempengaruhi harga keandalan, semakin besar dan semakin tebal pipa maka keandalannya juga semakin besar.

Pada tabel 4.7 terlihat perbedaan hasil running antara simulasi Montecarlo dengan perhitungan memakai metode AFOSM. Besarnya perbedaan/selisih tersebut dapat dilihat dalam tabel berikut:

gaya aksial rata-rata	Montecarlo		AFOSM		selisih
	peluang kegagalan	keandalan	peluang kegagalan	keandalan	
5.0706	0.16198	0.83802	1.130E-05	0.999989	0.161969
6.0706	0.19474	0.80526	0.0045404	0.995460	0.190200
7.0706	0.22991	0.77009	0.0474597	0.952540	0.182450
8.0706	0.26413	0.73587	0.1466293	0.853371	0.117501
9.0706	0.30300	0.69700	0.2949434	0.705057	0.008057
10.0706	0.34057	0.65943	0.4603706	0.539629	0.119801

Tabel 4.8. Perbedaan perhitungan antara simulasi Montecarlo dengan AFOSM

Pada tabel 4.8 terlihat perbedaan yang cukup besar antara perhitungan dengan metode simulasi Montecarlo dengan metode AFOSM. Pada dasarnya metode AFOSM baik dipakai untuk moda kegagalan yang linier atau sedikit tidak linier, sedangkan perhitungan untuk moda kegagalan yang sangat non linier sebaiknya memakai simulasi Montecarlo.



BAB V

PENUTUP

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang dilakukan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kekuatan kaki struktur monopod LL-4A ARJUNA(diameter luar 48 in dan diameter dalam 45 in) memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi dan peluang gagal yang sangat kecil.
- Penambahan beban gaya aksial rata-rata menurunkan indeks keandalan dan peluang keandalan.
- Pengurangan Ketebalan kaki struktur menurunkan peluang keandalannya. Untuk diameter luar 46 in dan diameter dalam 45 in peluang keandalannya menjadi 57 % .
- Pengembangan piranti lunak dalam bahasa Delphi untuk analisa keandalan kekuatan monopod tersebut dapat dipakai untuk analisa keandalan terhadap kekuatan struktur jenis monopod dengan metode AFOSM(*Advanced First Order Second Moment*).

5.2. SARAN

Berdasarkan analisa dan perhitungan keandalan pada tugas akhir ini dan terbatasnya data yang ada serta asumsi-asumsi yang dipakai untuk memudahkan analisa maka penulis menyarankan sebagai berikut:

- Harga keandalan yang terbaca dari program adalah dua digit apabila diperlukan desimal yang lebih maka keandalan dapat dihitung dengan program Exel.
- Untuk analisa keandalan kekuatan struktur (kasus yang sama) dengan perubah dasar yang lebih banyak maka pemakaian simulasi Montecarlo memberikan nilai yang lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. API. 1991. " *Recommended Practice For Planning, Designing And Constructing Fixed Offshore Platform* ". API Publication RP-2A, Dalas.
2. Rosyid, D.M. 1996. " *Analisa Keandalan dan Resiko* ". Diktat kuliah, Surabaya.
3. Popov, E.P. 1993. " *Mechanics of Material (Edisi Bahasa Indonesia)* ". Airlangga, Surabaya.
4. Ditlevsen, Madsen, H.O. 1986. " *Structural Reliability Methods* ". John Wiley & Son, Inc. New York.
5. Bramlet McClelland, Michel D. Reifel. 1980. " *Planing And Designing Of Offshore Platform* ". Texas.
6. Det Norske Veritas. 1977. " *Rules For The Design Construction And Inspection Of Offshore Structure* ". Norway.
7. Kiki Krisnamurti. 1996. " *Perancangan Penegar pada Monopod Platform LL 4A Arjuna di PT ARCO Indonesia* ". Sukolilo, Surabaya.
8. Joko Pramono. 1996. " *Mudah Menguasai Delphi 3.0* ". PT Alex Media Komputindo, Kelompok Gramedia, Jakarta.
9. Inge Martina. 1990. " *36 Jam Belajar Menguasai Delphi 4.0* ". PT Alex Media Komputindo, Kelompok Gramedia, Jakarta.
10. Agus, M. 2000. " *Belajar Sendiri Borland Delphi 5.0* ". PT Alex Media Komputindo, Kelompok Gramedia, Jakarta.



LAMPIRAN

LAMPIRAN A
PENGUNAAN PIRANTI LUNAK

PENGUNAAN PIRANTI LUNAK

A. UMUM

Program atau pengembangan piranti lunak analisa keandalan kekuatan struktur monopod diberi nama RAAFOSM(*Reliability Analisis with Advanced First Order Second Moment*). RAAFOSM adalah piranti lunak untuk menghitung indeks keandalan dengan metode analisa keandalan AFOSM. Program ini dibuat untuk membantu meringankan pemakai melakukan iterasi dalam perhitungan analisa keandalan terhadap kekuatan monopod.

RAAFOSM dapat dijalankan pada komputer dengan spesifikasi minimum seperti dibawah ini:

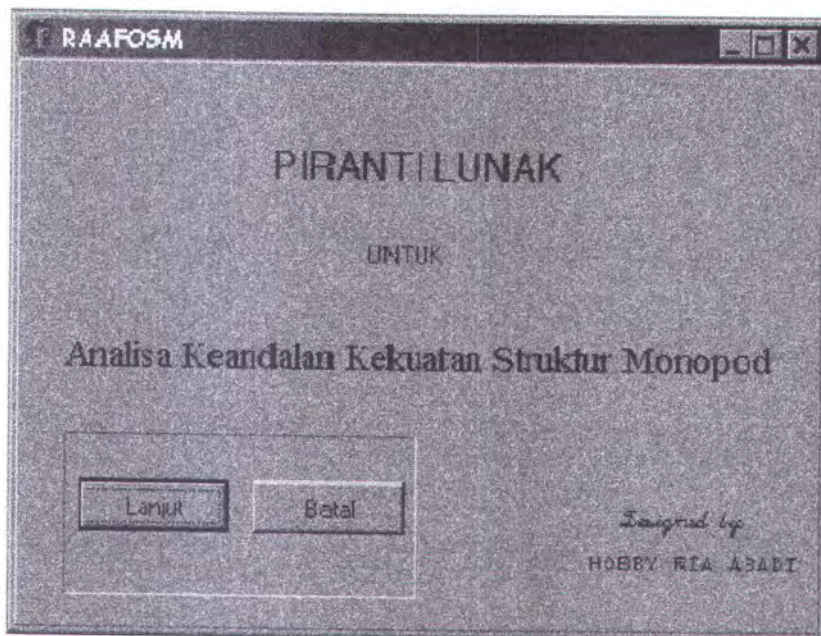
- Processor Pentium 166 MHZ
- Memory 16 MB
- Monitor SVGA,resolusi 1024 x 786
- Window 95
- Additional:mouse

Untuk memulai program ini lakukan klik mouse dua kali pada shortcut RAAFOSM, maka akan muncul tampilan pertama.

B. MENJALANKAN PROGRAM

Memulai Aplikasi

Setelah melakukan dua kali klik mouse pada shortcut RAAFOSM maka akan muncul tampilan sebagai berikut:



Gambar 1. tampilan pertama RAAFOSM

Untuk masuk ke program klik pada tombol lanjut, sebaliknya kalau membatalkan klik pada tombol batal. Tampilan berikutnya adalah tampilan window input program dan yang terakhir adalah output program. Tampilan input program memiliki beberapa jendela layar begitu pula dengan tampilan output program.

Memasukkan Data

Pemasukan data dalam program ini dibagi dalam empat jendela layar yaitu: data struktur monopod, data-data lingkungan, input beban aksial dan data-data keandalan. Data struktur monopod meliputi ukuran diameter luar, diameter dalam, panjang struktur monopod, dan sebagainya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam tampilan berikut:

Perhitungan Awal untuk Input Analisa dengan AFOSM

File Informasi Program

Judul Data Struktur Monopod Data Data Lingkungan

Input Beban Aksial Data Data Pembebanan Data Data Keandalan

Perhitungan Tegangan Aksial

Beban Struktur Kaki KN

Beban Angkutan KN

Live Load KN

Dead Load KN

Beban Landing KN

Beban Tambahan KN

Tegangan Aksial

☐ part per part

☐ Total

Tegangan Aksial Total MN

Gambar 4. jendela layar input beban aksial

Untuk input data yang terakhir klik jendela layar data-data keandalan, maka akan muncul jendela layar berikut:

Perhitungan Awal untuk Input Analisa dengan AFOSM

File Informasi Program

Judul Data Struktur Monopod Data Data Lingkungan

Input Beban Aksial Data Data Pembebanan Data Data Keandalan

Perubah Dasar

Gaya Aksial

Luas Penampang

Tegangan Ijin Aksial

Momen Bending

Modulus Ijin Elastis

Tegangan Bending Ijin

COV (%)

Tipe Distribusi

Perhitungan AFOSM

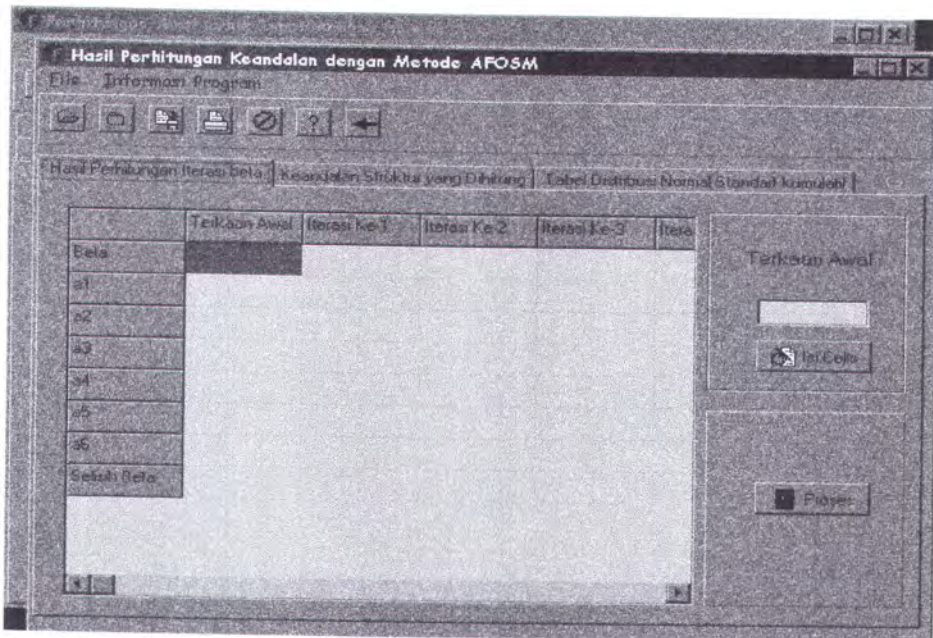
Gambar 5. jendela layar input data-data kendalan

Gambar pada jendela judul



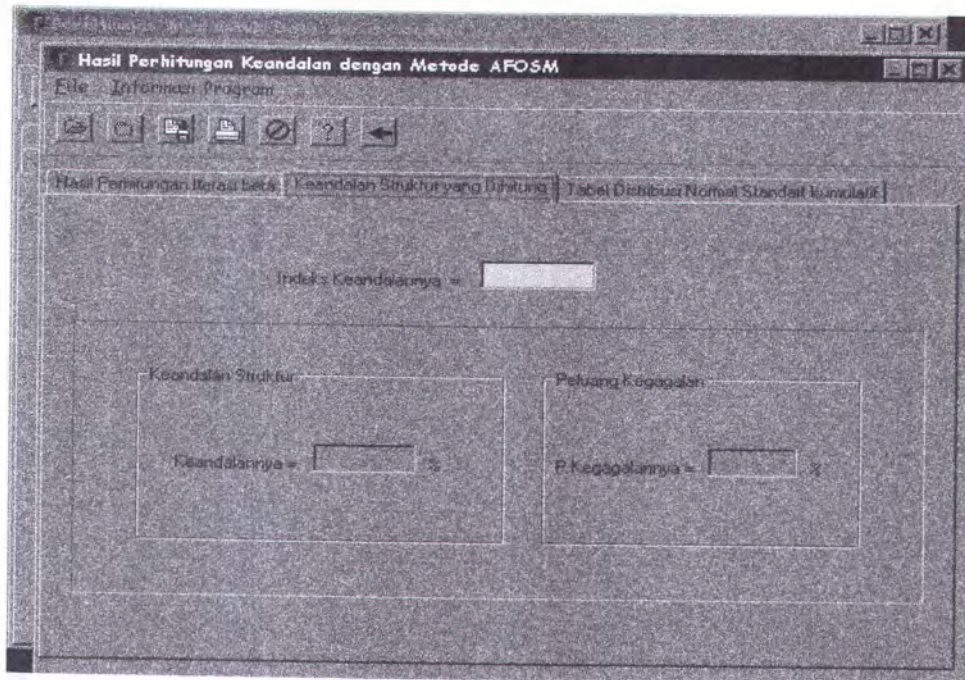
Proses Perhitungan dan Hasilnya

Setelah semua input data terisi lengkap, untuk proses berikutnya maka klik tombol perhitungan AFOSM maka akan muncul window output program Sebagai berikut:



Gambar 6. jendela layar hasil perhitungan iterasi beta

Hal pertama yang dilakukan untuk proses perhitungan adalah mengisi harga terkaan awal untuk proses iterasi. Hal ini dapat dilakukan dengan memasukkan angka pada kotak edit (di atas tombol isi cells) kemudian klik tombol isi sel, lakukan untuk baris beta, a1, a2 dan seterusnya. Setelah selesai klik tombol proses maka program akan menghitung iterasi beta dan harga keandalannya. Keandalan struktur yang kita cari dapat dilihat pada jendela layar keandalan struktur sebagai berikut:



Fungsi Tombol-Tombol pada Menu Utama

'File'

- 'Buka' : Membuka file yang diinginkan
- 'Simpan' : Menyimpan file tertentu
- 'Cetak' : Mencetak/print file
- 'Keluar' : Mengakiri program

'Informasi Program'

- 'profil program' : untuk melihat keterangan program
- 'Cara Pakai' : Petunjuk penggunaan program

LAMPIRAN B

DATA STRUKTUR MONOPOD LL-4A ARJUNA

MILIK PT ARCO INDONESIA

1.0 INTRODUCTION

The LL-4A Well Monopod Platform was re-analyzed due to the additional load of the Tuned Liquid Damping (TLD) System. The TLD system is to be designed to reduce the response of the structure, particularly at its resonant frequency.

The platform is located offshore Northwest Java at the following co-ordinates :

South 5° 50' 48.81"

North 107° 26' 11.14"

The platform is a monopod with an outside diameter (O.D.) of 48 in. supporting a small deck of some 150 ft².

This report covers the structural re-analysis due to modifications required and also the additional load to the existing platform.

Structural re-analysis involves idealization of the platform as a three-dimensional finite element model, and carrying out the major structural analysis includes Inplace and Seismic which was done using "SACS" Structural Analysis Package.

Structural integrity of both the original and the additional members are checked under operational and storm condition in accordance with the governing codes and specification applicable for the location and function of the structure.

The following computer analysis have been carried out as part of the design process :

a. In-Place Analysis.

Performed to satisfy API RP2A criteria on strength for the 100 year and 1 year environmental criteria. Coupled interaction analysis were performed with the caisson and non linear soil properties modelled below mudline.

b. Seismic Analysis.

No computer run was done in Seismic Analysis. The peak response and the RMS response have both been shown to be considerably reduced by the addition of a TLD system to the structure. The results of the analysis are included in this report.

2.0 DRAWINGS

The following pages are the drawings which show the modifications required to the existing platform.



3.0 IN - PLACE ANALYSIS

3.1 ENVIRONMENTAL CRITERIA

Environmental data was taken from " 100 year & 1 year storm wind, tide, wave & current characteristics, wave - current forces and 10 directional wave height distribution and associated wave periods : approximately 5° 54' 55" S & 107° 43' 52" E, chart datum 130 ft, Offshore Northwest Java, Java Sea".

Prepared by A.H. Glenn & Associates, May 1989.

This set of data was selected for its general proximity (20 miles) to the LL-4A location whilst maintaining a degree of conservatism in the waves selected, as it is considered that some reduction of wave height would occur with water depth reduction.

In addition this report contains sufficient data to cover the analysis required.

WATER DEPTH

	<u>100 year Storm</u>	<u>1 year Storm</u>
Chart Datum	97.0 Ft	97.0 Ft.
Tide + Surge	4.3 Ft	4.1 Ft.
Contingency	3.0 Ft	3.0 Ft.
Total	104.3 Ft	104.1 Ft.

WAVES

<u>Load Condition</u>	<u>Height (Ft)</u>	<u>Period (Ft)</u>
100 year Storm	27.3 Ft	9.3 Ft.
1 year Storm	16.4 Ft	7.0 Ft.

Stokes 5th theory used

CURRENT

<u>Load Condition</u>	<u>Surface velocity (Ft/sec)</u>
100 year Storm	3.6
1 year Storm	2.6

WIND

<u>Load Condition</u>	<u>Velocity at + 30' (mph)</u>
100 year Storm	80
1 year Storm	48

MARINE GROWTH

2" radially on all members between Mudline and MSL

3.2 COMPUTER MODEL

The computer model is comprised of beam elements representing the monopod caisson.

The risers are modelled as a single member for hydrodynamic loading.

The deck and TLD system are included in the model where the appurtenances, dead loads and live loads are applied on it.

The part of the caisson below mudline is modelled as a beam element on non linear springs and the entire model (above and below mudline) is analysed using The SACS suite of programs.

A coupled interaction analysis is performed using SEASTATE to generate loads, SACS as a general purpose stiffness analysis program, PILE to perform the pile soil interaction using the condensed stiffness matrix and load vectors from the structure above mudline, to iterate to a solution. The pilehead deflections and rotations are then back substituted into the stiffness analysis and the structural forces and moments matched to those of the pile.

3.3 LOADS

Basic load cases are developed as follows :

Load Condition 1.

Computer generated self weight of caisson and deck structure.

Load Condition 2.

Load at the deck elevation :

Dead Load (incl. equip, appurt, ext. deck, etc.)

Live Load @ 200 lbs/sq. ft.

Boat Landing (est.)

3.00 Kips.

Dead Load of Grout and Casing inside Conductor :

Mudline to -77 Ft.

1.30 Kips/Ft.

-77 Ft. to Deck Level.

0.101 Kips/Ft.

Load Condition 3.

100 year Storm, Current - Direction 0°.

Load Condition 4.

100 year Storm, Wave - Direction 0°.

Load Condition 5.

100 year Storm, Wind - Direction 0°.

Load Condition 6.

1 year Storm, Current - Direction 0°.

Load Condition 7.

1 year Storm, Wave - Direction 0°.

Load Condition 8.

1 year Storm, Wind - Direction 0°.

Load Condition 9.

6.0 Ft. Wave x 6.4 sec. period to determine maximum deflection during wireline operations.

LOAD COMBINATIONS

1. Using LL-3 Soils

BASIC LOAD	LOAD COMBINATION		
	100 Year Storm	1 Year Storm	Operating
1	1.05	1.05	1.05
2	1.00	1.00	1.00
3	1.00	---	---
4	2.38	---	---
5	1.00	---	---
6	---	1.00	1.00
7	---	1.42	---
8	---	1.00	1.00
9	---	---	1.48

2. Using ZU-B Soils

BASIC LOAD	LOAD COMBINATION		
	100 Year Storm	1 Year Storm	Operating
1	1.05	1.05	1.05
2	1.00	1.00	1.00
3	1.00	---	---
4	1.49	---	---
5	1.00	---	---
6	---	1.00	1.00
7	---	3.09	---
8	---	1.00	1.00
9	---	---	1.54

WIND LOADS

$$\begin{aligned}\text{Area of X'mas tree} &= 4' \times 9' = 36 \text{ Ft}^2. \\ \text{Area of Caisson above MSL} &= 4' \times 30' = 120 \text{ Ft}^2. \\ \text{Area of Deck beams} &= 4 \times 10 \times 1 = 40 \text{ Ft}^2. \\ \hline \text{Total} &= 196 \text{ Ft}^2.\end{aligned}$$

$$F = 0.00256 \times V^2 \times A \times C_s \times 10^3 \text{ (Kips)}$$

$$\text{Let } V = 80 \text{ mph (Storm)}$$

$$= 48 \text{ mph (1 year)}$$

$$C_s = \text{Shape factor} = 1.$$

$$F_{100} = 3.2 \text{ Kips.}$$

$$F_1 = 1.2 \text{ Kips.}$$

3.4 APPURTENANCES

The boat landing is modelled as an "Area Card" for hydro dynamic loading only.

Projected Areas (Ft²) :

$$\text{Global X} = \quad \quad \quad = 60.2$$

$$\text{Global Y} = [(21 \times 4) \times 6.625 / 12] + 13.8 = 60.2$$

$$\text{Global Z} = [(8.5 \times 2) + (2.0 \times 4)] \times 6.625 / 12 = 13.8$$

3.5 RISERS

Modelled as a single member for hydro dynamic loading only.
Allow 2 inch marine growth between mudline and MSL.

Risers OD, were used in the analysis are 3 inch and 6 inch.

3.6 RESULT OF ANALYSIS

Loads :

LOAD CONDITION	BASE SHEAR (Kips)		O. T. MOMENT (Kip - Ft)	
	LL - 3	ZU - B	LL - 3	ZU - B
100 Year Storm	85.51	55.77	7185.93	4745.58
1 Year Storm	26.51	54.44	2032.23	4054.90
Operating	11.97	12.34	975.06	1001.93

Deflections :

LOAD CONDITION	LL-3 SOIL DATA			ZU-B SOIL DATA		
	Mudline	M. S. L.	El. (+) 30'	Mudline	M. S. L.	El. (+) 30'
100 Year Storm	3.26	44.62	59.47	7.89	48.01	61.30
1 Year Storm	0.63	10.95	14.62	6.46	39.41	49.92
Operating	0.23	4.90	6.61	0.85	7.43	9.66

Member Unity Checks :

LOAD CONDITION	LL-3 SOIL DATA		ZU-B SOIL DATA	
	At Mudline	Below Mudline	At Mudline	Below Mudline
100 Year Storm	0.890	0.871	0.633	0.658
1 Year Storm	0.520	0.353	0.866	0.737
Operating	0.339	0.184	0.343	0.193

Allowable Stresses :

A 1/3 increase in allowable stresses is included for the 100 year Storm Case only.

3.7 FOUNDATION CHECK

As the original design, there is no site specific borehole for LL-4A. However there are a number of boreholes drilled in the LL area, the nearest of which are as follows :

<u>Borehole</u>	<u>Location</u>		<u>Distance from LL-4A (Ft)</u>
	<u>South</u>	<u>East</u>	
LL-B	5° 51' 19.0"	107° 26' 45.0"	4582
LL-C	5° 50' 34.2"	107° 26' 55.0"	4665
LL-3	5° 51' 15.5"	107° 26' 46.6"	4483

All three are approximately equidistant from LL-4A (distance is based on 101 Ft / Sec.)

Based on the information from the original design, LL-3 was selected for the analysis on the basis of having the weakest profile.

6 Ft. of scour is assumed to account for any soft surficial deposits.

In addition the in-place condition are checked using very soft soils from boring ZU-B, so that the design is known to work in some of the softest soils.

The result of foundation analysis are shown in table of member unity check in Section 3.6 Result of Analysis.

Soil Data :

The T-Z, Q-Z & P-Y data are input directly into the Sacs PSI program.

The input soil data is for 36" Ø & 30" Ø piles, so the program recalculates the P and the Y ordinates for a 48" OD. Pile.

Soil Data References :

1. "Soil and Foundation Investigation, Boring LL-3, Ardjuna Field, Offshore Northwest Java", SOILMAKLELAN, June '84.
2. "Soil and Foundation Investigation, Boring ZU-B, Ardjuna Field, Offshore Northwest Java", SOILMAKLELAN, November '84.

Relevant data sheets from these reports are shown on the following pages.

4.0 SEISMIC ANALYSIS

No computer run was done in Seismic Analysis, since the peak response and the RM response have both been shown to be considerably reduced due to additional of the TLD system to the structure.

The following pages are the calculation which show the result of the above cases.

107° 25' E

107° 28' E

107° 30' E

107° 32' E

5° 50' S

5° 50' S

5° 52' S

5° 52' S

5° 54' S

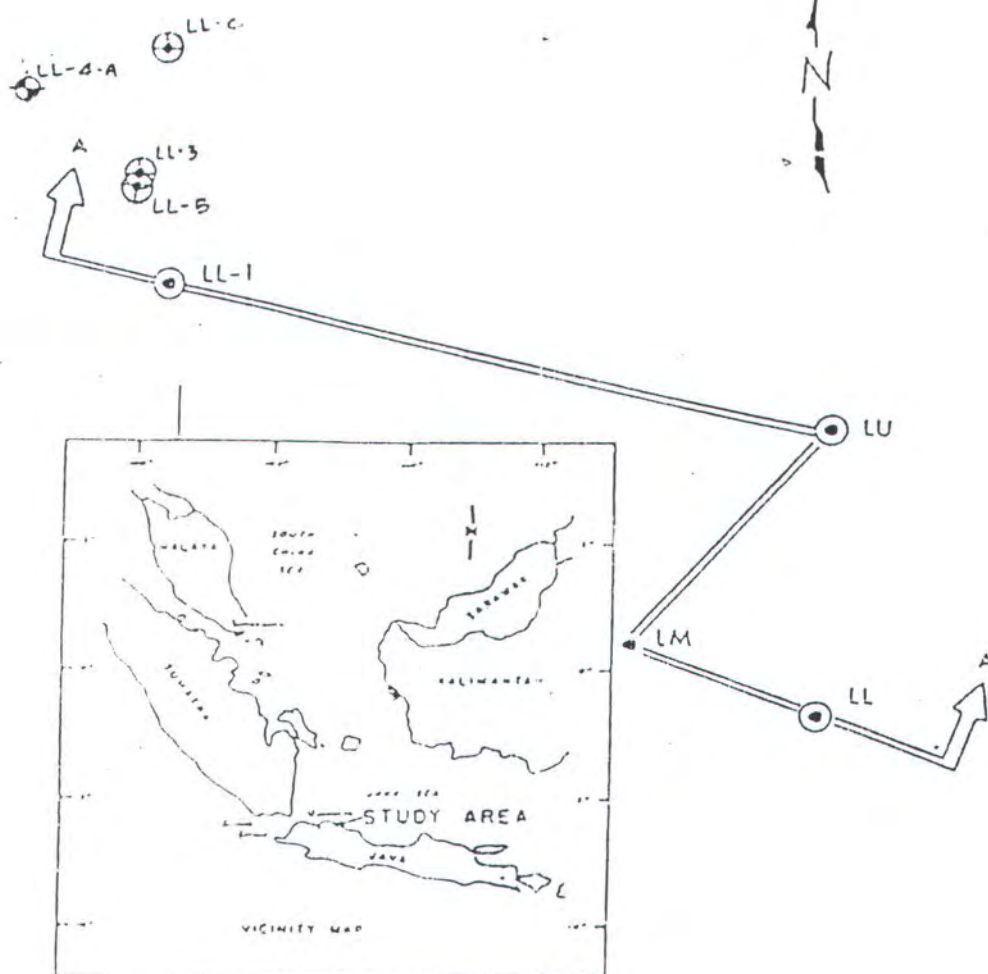
5° 54' S

5° 56' S

5° 56' S

5° 58' S

5° 58' S

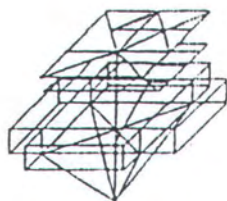


PLAN OF BORINGS

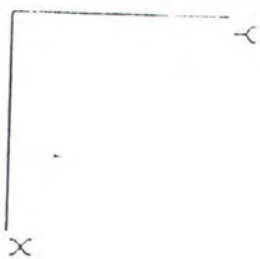
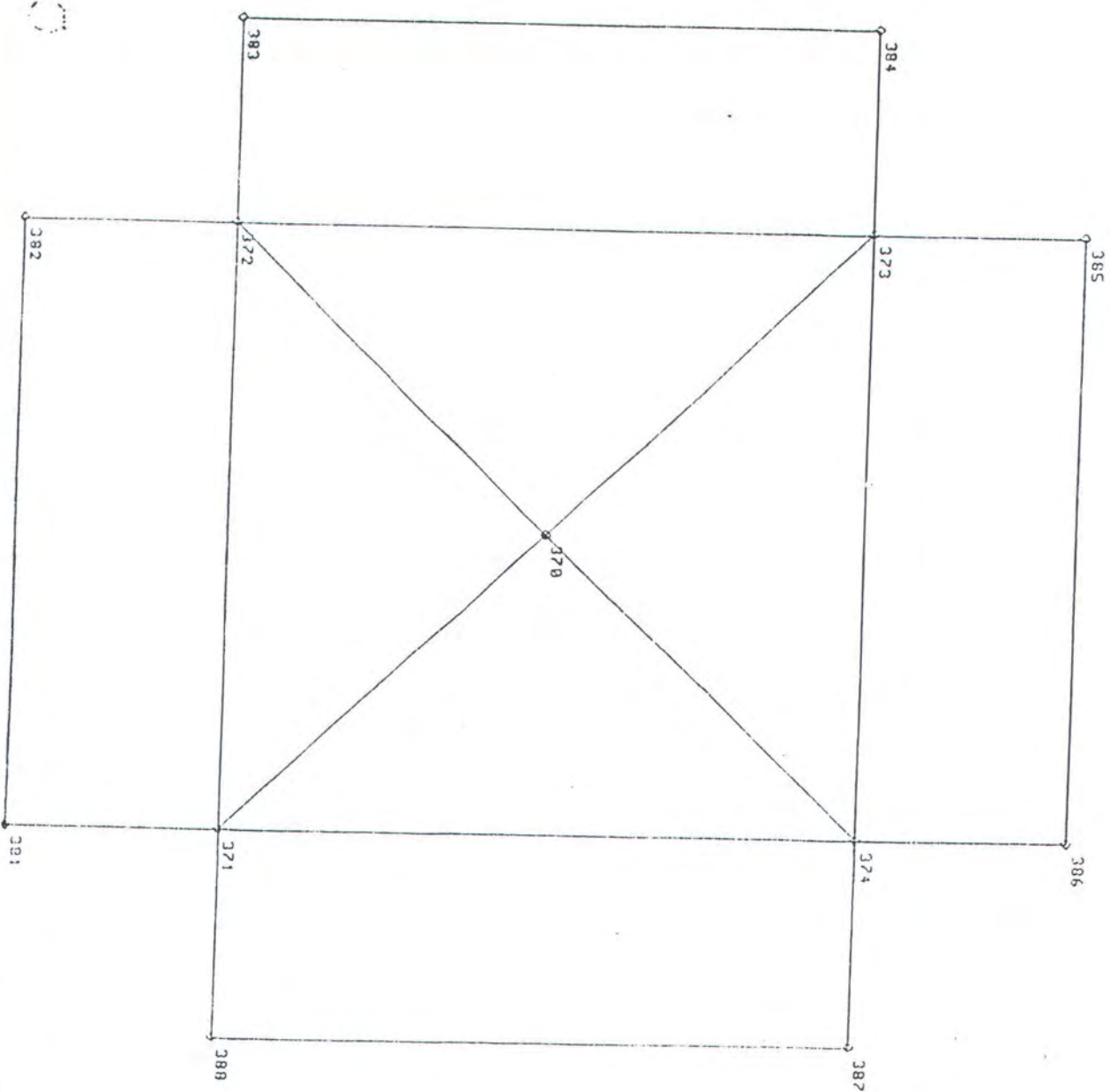
Legend

- Borings for this Report
- Boring for Report No. 72-274-1

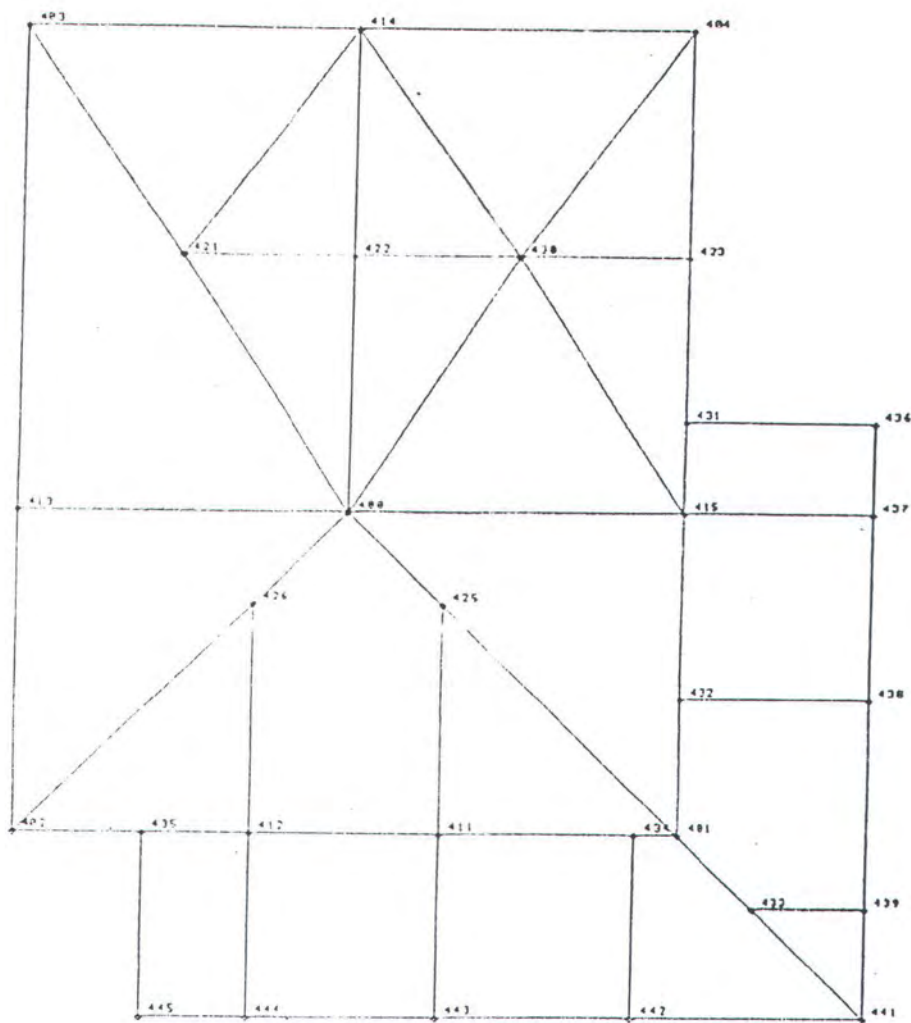
LL-4A WELL MONOPOD PLATFORM : ADD'L FRAMING & BRACE FOR LIQUID DAMPER

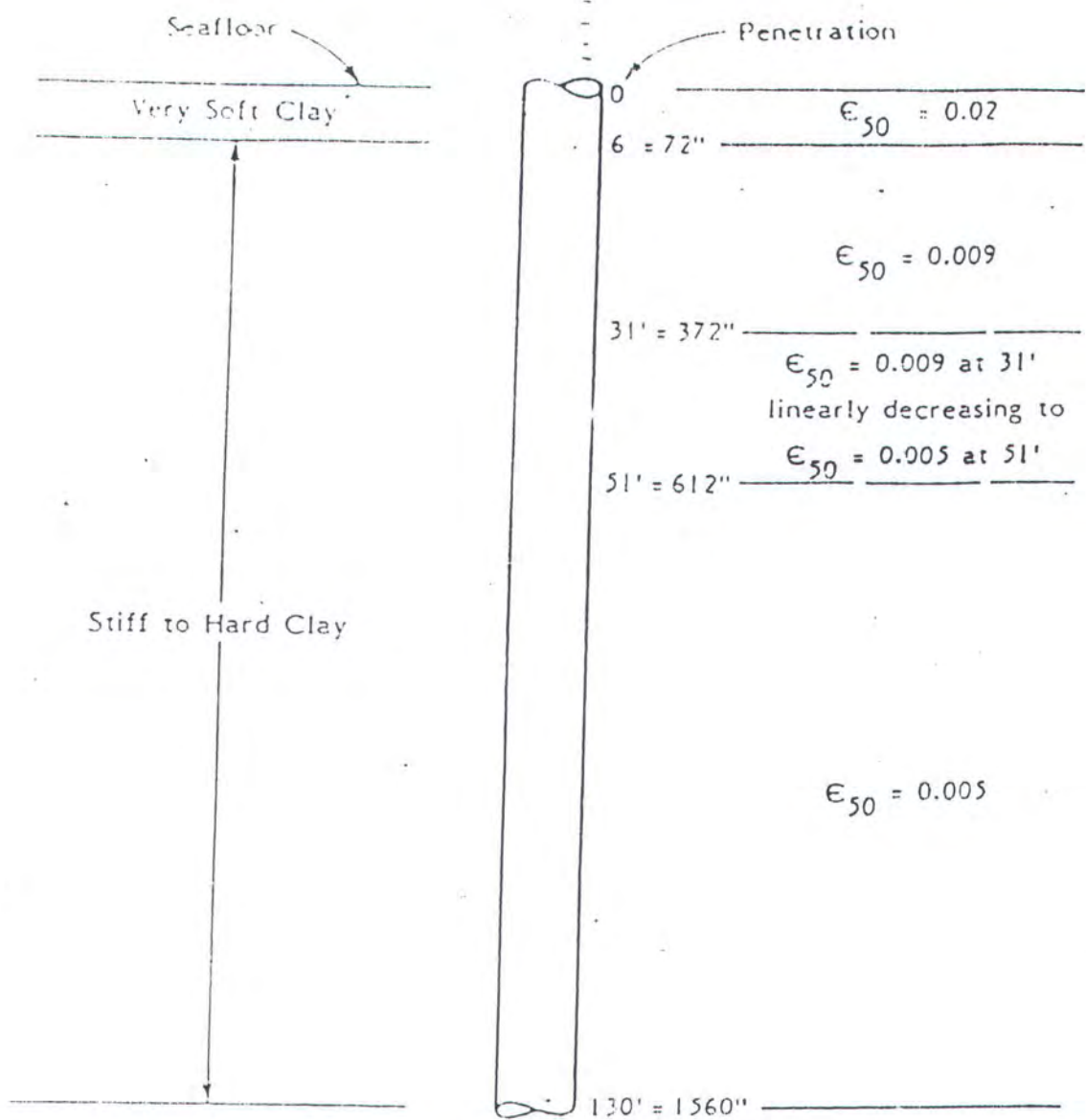


LL-4A WELL MONOPOD PLATFORM : FRAMING PLAN FOR LIQUID DAMPER



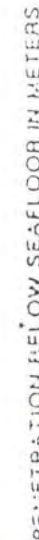
LL-4A WELL MONOPOD PLATFORM : DECK FR. HING - EL. (+) 29'-6" T.O.S.





Notes

1. E_{50} is the axial strain at half of the peak deviator stress for clays in in./in.
2. Undrained shear strength values for clays are shown on the log and test results, Plates 1 and 2, and are tabulated on Plate 3.
3. Submerged unit weights for clays are tabulated on Plate 3.



BORING ZUL-B

Stratum	Soil Description	Penetration (ft)		Submerged Unit Weight (ksf)	Design Shear Strength (ksf)	Unit Skin * Friction (ksf)	Unit End Bearing (ksf)
		From	To				
I	Very Soft Clay	0		0.030	0.09	0.09	-
			6	0.030	0.09	0.09	-
II	Stiff to Hard Clay	6		0.042	1.20	0.75	-
			16	0.042	1.20	0.75	-
			31	0.048	5.00	2.10	-
			51	0.030	2.00	0.60	-
			87	--	--	0.40	-
		87		--	--	0.75	-
			92	0.042	1.40	--	12.6
			110	0.063	--	--	--
			130	0.030	4.80	2.15	43.2
			156	0.030	3.80	2.05	34.2
III	Silty Sand	156		0.055	$\phi = 25^\circ$ $f_{max} = 1.7 \text{ ksf}$ $N = 20$ $q_{max} = 100 \text{ ksf}$	1.70/1.63	100.0
			161.5	--		-- / 1.70	--
			186	0.055		1.70/1.70	100.0
IV	Very Stiff Clay	186		0.055	3.50	2.20	31.5
			212	0.044	2.30	2.05	20.7
			251.5	0.044	3.20	2.52	25.5

*Notes

Unit skin friction values presented for the 1931 Lambda Method only. In cohesive strata, the unit skin friction ϕ is the same for compression and tension.

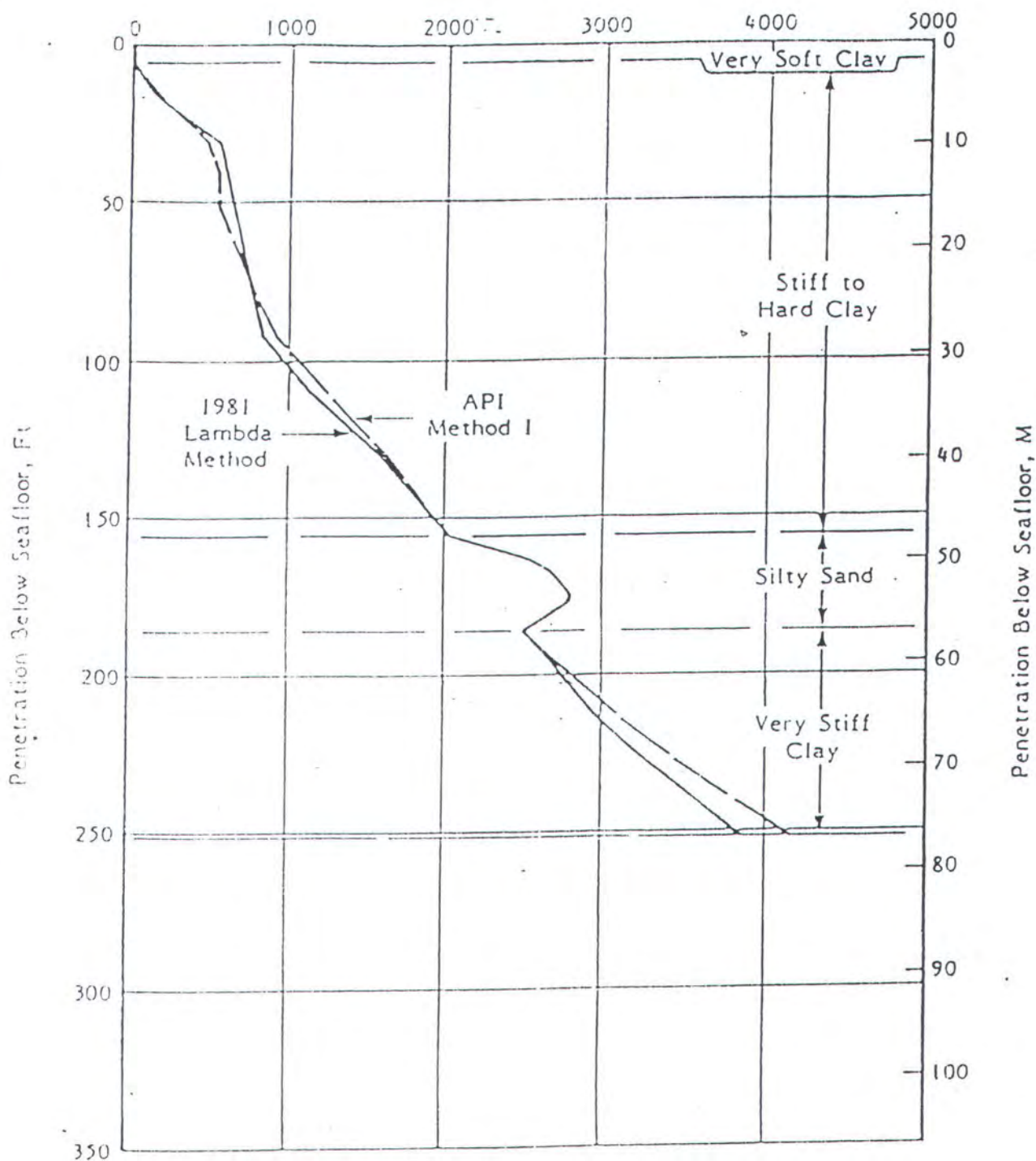
In Stratum III, the unit skin friction is presented as follows:

compression/tension

Indicates that values may be determined, if needed by linear interpolation between values tabulated above and below.

TABULATION OF DESIGN PARAMETERS
BORING I.L-3

Ultimate Pile Capacity, Kips



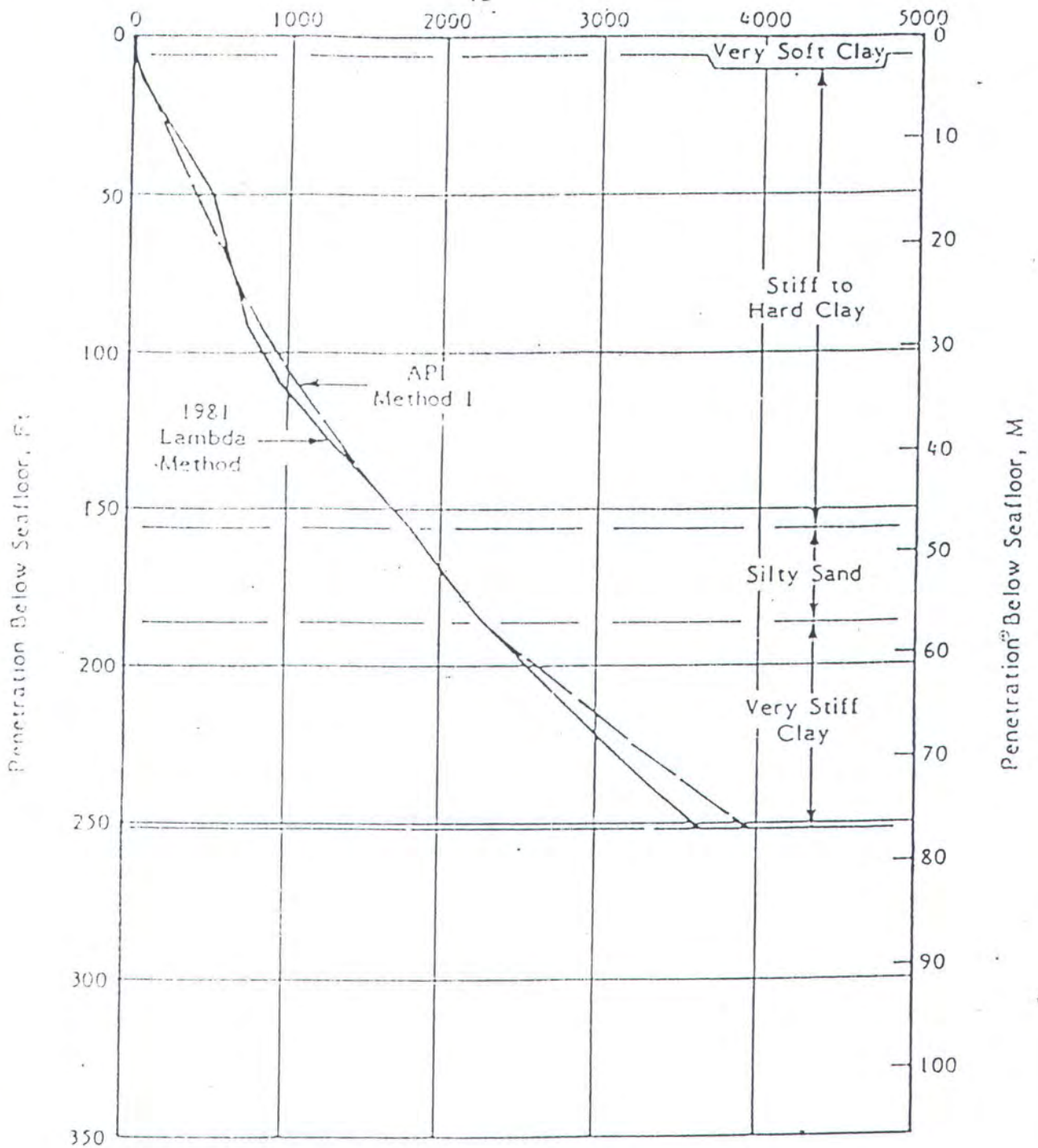
ULTIMATE PILE CAPACITY CURVES

36-in. Diameter Pipe Piles

Boring LL-3

Compression

Ultimate Pile Capacity, Kips



ULTIMATE PILE CAPACITY CURVES

36-in. Diameter Pipe Piles

Boring E-L-3

Tension

T-Z DATA

COMPRESSION AND TENSION

PENETRATION

T(1)	Z(1)	T(2)	Z(2)	T(3)	Z(3)	T(4)	Z(4)	T(5)	Z(5)	T(6)	Z(6)	T(7)	Z(7)	T(8)	Z(8)	
0.	0.	0.	0.08	0.02	0.17	0.05	0.28	0.09	0.31	0.12	0.34	0.14	0.35	0.16	0.35	9.00
72.	0.	0.	0.08	0.02	0.17	0.05	0.28	0.09	0.31	0.12	0.34	0.14	0.35	0.16	0.35	9.00
450.	0.	0.	0.54	0.02	1.08	0.05	1.72	0.09	1.94	0.12	2.11	0.14	2.15	0.16	2.15	9.00
1620.	0.	0.	1.39	0.02	2.78	0.05	4.44	0.09	5.00	0.12	5.44	0.14	5.56	0.16	5.56	9.00
1621	0.	0.	1.93	0.02	3.85	0.05	6.17	0.09	6.94	0.12	7.55	0.14	7.71	0.16	7.71	9.00
2640.	0.	0.	3.59	0.02	7.19	0.05	11.50	0.09	12.94	0.12	14.09	0.14	14.37	0.16	14.37	9.00
3000.	0.	0.	4.90	0.02	9.79	0.05	15.67	0.09	17.52	0.12	19.19	0.14	19.58	0.16	19.58	9.00

NOTES: 1. T IS LOAD IN POUNDS PER SQUARE INCH
2. Z IS DISPLACEMENT IN INCHES

3. PENETRATION IS IN INCHES

Q-Z DATA

PENETRATION

	Q(1)	Z(1)	Q(2)	Z(2)	Q(3)	Z(3)	Q(4)	Z(4)	Q(5)	Z(5)	Q(6)	Z(6)	Q(7)	Z(7)	Q(8)	Z(8)
1620.	0.	0.	7.	0.12	10.	0.24	16.	0.60	22.	1.20	27.	1.80	35.	3.00	35.	6.00
1710	0.	0.	15.	0.12	22.	0.24	34.	0.60	48.	1.20	59.	1.80	76.	3.00	76.	6.00
2640.	0.	0.	27.	0.12	37.	0.24	59.	0.60	84.	1.20	103.	1.80	133.	3.00	133.	6.00
3000.	0.	0.	44.	0.12	62.	0.24	99.	0.60	140.	1.20	171.	1.80	221.	3.00	221.	6.00
NOTES:	1.	Q IS TIP LOAD IN KIIPS														

NOTES: 1. Q IS TIP LOAD IN KIPS

2. Z IS TIP MOVEMENT IN INCHES

3. PENETRATION IS IN INCHES

T-Z AND Q-Z DATA
30-in. Diameter Pipe Piles
Boring ZU-B

T-Z DATA COMPRESSION

PENETRATION

	T(1)	Z(1)	T(2)	Z(2)	T(3)	Z(3)	T(4)	Z(4)	T(5)	Z(5)	T(6)	Z(6)	T(7)	Z(7)	T(8)	Z(8)
100	0.	0.	0.16	0.03	0.31	0.07	0.50	0.11	0.56	0.14	0.61	0.16	0.62	0.19	0.62	0.00
100	0.	0.	0.16	0.03	0.31	0.07	0.50	0.11	0.56	0.14	0.61	0.16	0.62	0.19	0.62	0.00
100	0.	0.	1.30	0.03	2.60	0.07	4.17	0.11	4.69	0.14	5.12	0.16	5.21	0.19	5.21	0.00
100	0.	0.	1.30	0.03	2.60	0.07	4.17	0.11	4.69	0.14	5.12	0.16	5.21	0.19	5.21	0.00
100	0.	0.	3.65	0.03	7.29	0.07	11.67	0.11	13.12	0.14	14.29	0.16	14.58	0.19	14.58	0.00
100	0.	0.	1.04	0.03	2.08	0.07	3.33	0.11	3.75	0.14	4.08	0.16	4.17	0.19	4.17	0.00
100	0.	0.	0.47	0.03	1.39	0.07	2.22	0.11	2.50	0.14	2.72	0.16	2.78	0.19	2.78	0.00
100	0.	0.	1.30	0.03	2.60	0.07	4.17	0.11	4.69	0.14	5.12	0.16	5.21	0.19	5.21	0.00
100	0.	0.	3.73	0.03	7.47	0.07	11.94	0.11	13.44	0.14	14.63	0.16	14.93	0.19	14.93	0.00
100	0.	0.	3.56	0.03	7.12	0.07	11.39	0.11	12.81	0.14	13.95	0.16	14.24	0.19	14.24	0.00
100	0.	0.	11.81	0.10	11.81	4.00	11.81	5.00	11.81	6.00	11.81	7.00	11.81	8.00	11.81	0.00
100	0.	0.	11.81	0.10	11.81	4.00	11.81	5.00	11.81	6.00	11.81	7.00	11.81	8.00	11.81	0.00
100	0.	0.	11.81	0.10	11.81	4.00	11.81	5.00	11.81	6.00	11.81	7.00	11.81	8.00	11.81	0.00
100	0.	0.	3.62	0.03	7.64	0.07	12.22	0.11	13.75	0.14	14.97	0.16	15.28	0.19	15.28	0.00
100	0.	0.	3.56	0.03	7.12	0.07	11.39	0.11	12.81	0.14	13.95	0.16	14.24	0.19	14.24	0.00
100	0.	0.	4.37	0.03	8.75	0.07	14.00	0.11	15.75	0.14	17.15	0.16	17.58	0.19	17.58	0.00

TENSION

100	0.	0.	11.32	0.10	11.32	4.00	11.32	5.00	11.32	6.00	11.32	7.00	11.32	8.00	11.32	0.00
-----	----	----	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------

- NOTES: 1. T IS LOAD IN POUNDS PER SQUARE INCH
2. Z IS DISPLACEMENT IN INCHES
3. PENETRATION IS IN INCHES
4. TENSION ARE PRESENTED ONLY WHEN DIFFERENT FROM COMPRESSION

Q-Z DATA

PENETRATION

	Q(1)	Z(1)	Q(2)	Z(2)	Q(3)	Z(3)	Q(4)	Z(4)	Q(5)	Z(5)	Q(6)	Z(6)	Q(7)	Z(7)	Q(8)	Z(8)
100	0.	0.	15.	0.14	25.	0.29	40.	0.72	56.	1.44	69.	2.16	69.	3.60	69.	7.20
100	0.	0.	61.	0.14	86.	0.29	137.	0.72	193.	1.44	237.	2.16	305.	3.60	385.	7.20
100	0.	0.	46.	0.14	68.	0.29	106.	0.72	153.	1.44	187.	2.16	242.	3.60	242.	7.20
100	0.	0.	141.	0.14	200.	0.29	316.	0.72	447.	1.44	548.	2.16	707.	3.60	707.	7.20
100	0.	0.	141.	0.14	200.	0.29	316.	0.72	447.	1.44	548.	2.16	707.	3.60	707.	7.20
100	0.	0.	45.	0.14	63.	0.29	100.	0.72	141.	1.44	172.	2.16	223.	3.60	223.	7.20
100	0.	0.	29.	0.14	41.	0.29	65.	0.72	93.	1.44	113.	2.16	146.	3.60	146.	7.20
100	0.	0.	41.	0.14	56.	0.29	91.	0.72	129.	1.44	158.	2.16	204.	3.60	204.	7.20

- NOTES: 1. Q IS TIP LOAD IN KIPS
2. Z IS TIP MOVEMENT IN INCHES
3. PENETRATION IS IN INCHES

T-Z AND Q-Z DATA
36 in Diameter Pipe Piles
Boring LL-3

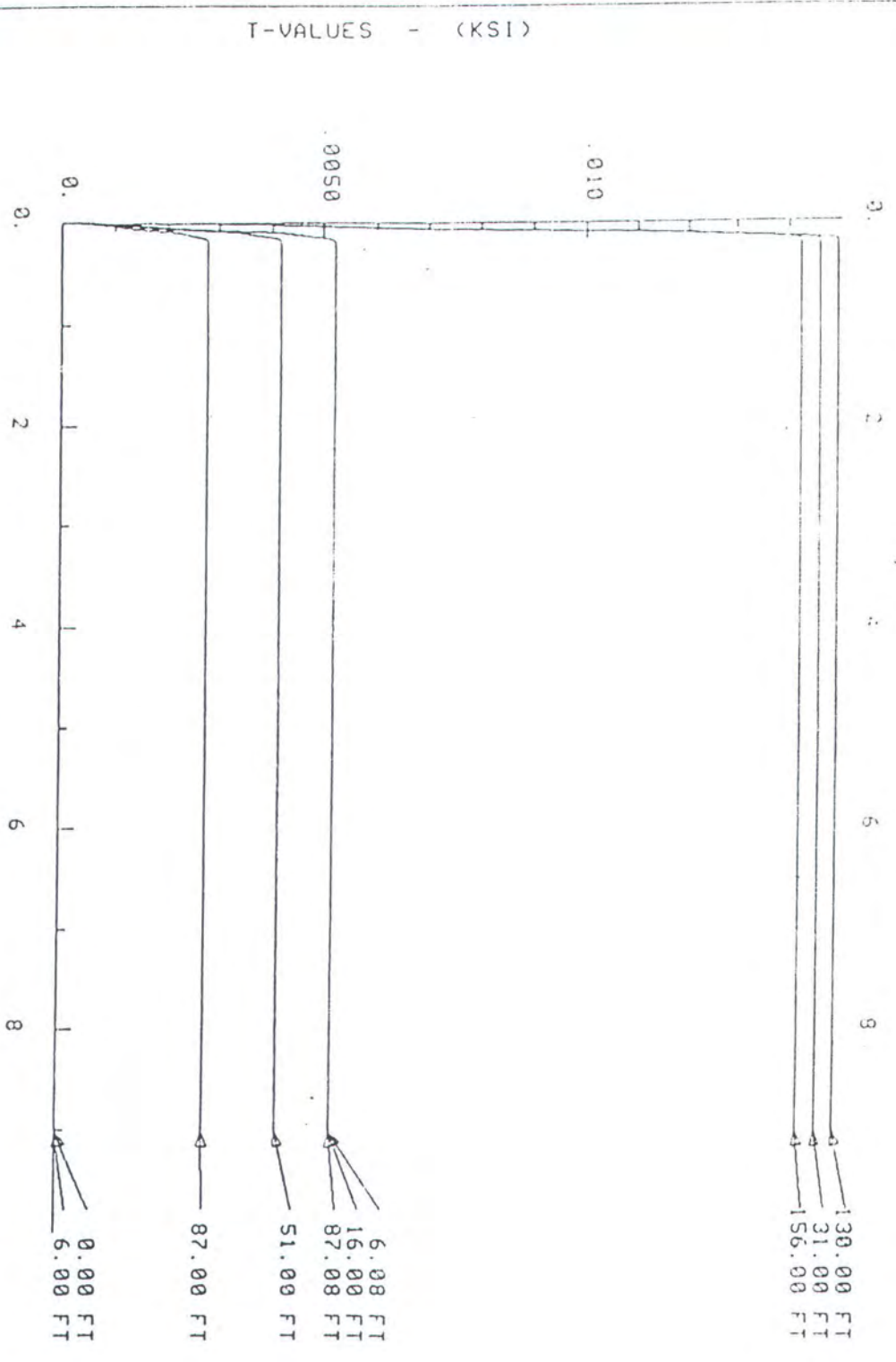
COORDINATE OF CURVE POINTS	PENETRATION, INCHES									
	0.0	26.0	72.0	100.0	144.0	210.0	400.0	1020.0	1621.0	2640.0
Y(1) P(1)	0.00 0.	0.00 0.	0.00 0.	0.00 0.	0.00 0.	0.00 0.	0.00 0.	0.00 0.	0.00 0.	0.00 0.
Y(2) P(2)	0.03 5.	0.03 5.	0.03 12.	0.03 19.	0.03 20.	0.03 46.	0.01 93.	0.01 219.	0.01 439.	0.01 822.
Y(3) P(3)	0.07 6.	0.07 10.	0.07 15.	0.07 24.	0.07 35.	0.07 50.	0.01 117.	0.01 276.	0.01 553.	0.01 1036.
Y(4) P(4)	0.15 7.	0.15 13.	0.15 19.	0.15 31.	0.15 44.	0.15 74.	0.03 148.	0.03 348.	0.03 697.	0.03 1305.
Y(5) P(5)	0.30 9.	0.30 16.	0.30 24.	0.30 39.	0.30 55.	0.30 93.	0.07 106.	0.07 439.	0.07 878.	0.07 1645.
Y(6) P(6)	0.60 12.	0.60 21.	0.60 30.	0.60 49.	0.60 70.	0.60 117.	0.15 235.	0.15 553.	0.15 1106.	0.15 2072.
Y(7) P(7)	1.20 15.	1.20 26.	1.20 38.	1.20 61.	1.20 88.	1.20 147.	0.30 296.	0.30 626.	0.30 1394.	0.30 2611.
Y(8) P(8)	1.50 16.	1.50 28.	1.50 41.	1.50 66.	1.50 95.	1.50 150.	0.30 319.	0.30 750.	0.30 1501.	0.30 2013.
Y(9) P(9)	1.88 17.	1.88 30.	1.88 44.	1.88 71.	1.88 102.	1.88 171.	0.47 343.	0.47 800.	0.47 1617.	0.47 3030.
Y(10) P(10)	2.25 18.	2.25 32.	2.25 47.	2.25 76.	2.25 108.	2.25 181.	0.56 365.	0.56 859.	0.56 1719.	0.56 3220.
Y(11) P(11)	2.63 19.	2.63 34.	2.63 49.	2.63 80.	2.63 114.	2.63 191.	0.66 384.	0.66 904.	0.66 1809.	0.66 3309.
Y(12) P(12)	3.00 20.	3.00 35.	3.00 51.	3.00 83.	3.00 119.	3.00 200.	0.75 402.	0.75 945.	0.75 1891.	0.75 3544.
Y(13) P(13)	3.75 21.	3.75 38.	3.75 55.	3.75 90.	3.75 129.	3.75 215.	0.94 433.	0.94 1010.	0.94 2030.	0.94 3817.
Y(14) P(14)	4.50 22.	4.50 41.	4.50 59.	4.50 95.	4.50 137.	4.50 229.	1.13 460.	1.13 1082.	1.13 2165.	1.13 4056.
Y(15) P(15)	12.00 13.	12.00 30.	12.00 54.	12.00 92.	12.00 137.	12.00 229.	3.00 460.	3.00 1007.	3.00 2165.	3.00 4056.
Y(16) P(16)	22.50 0.	22.50 16.	22.50 47.	22.50 86.	22.50 137.	22.50 229.	5.63 460.	5.63 1082.	5.63 2165.	5.63 4056.
Y(17) P(17)	30.00 0.	30.00 16.	30.00 47.	30.00 86.	30.00 137.	30.00 229.	7.50 460.	7.50 1082.	7.50 2165.	7.50 4056.

Note

1. "Y" is deflection in inches.
2. "P" is total resistance in pounds per inch.

P-Y DATA
30-in. Diameter Pipe Piles
Boring ZU-B

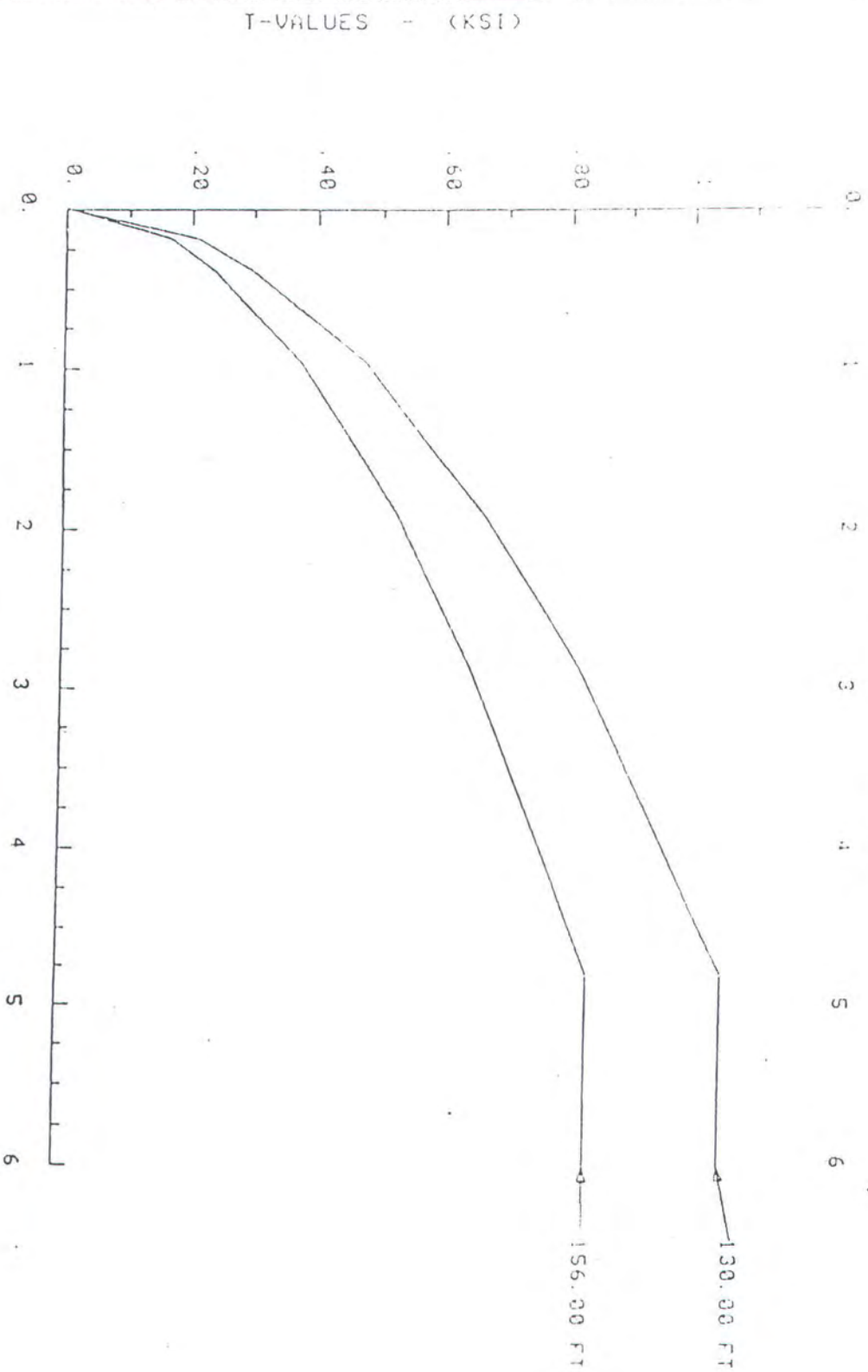
AXIAL T-Z DATA



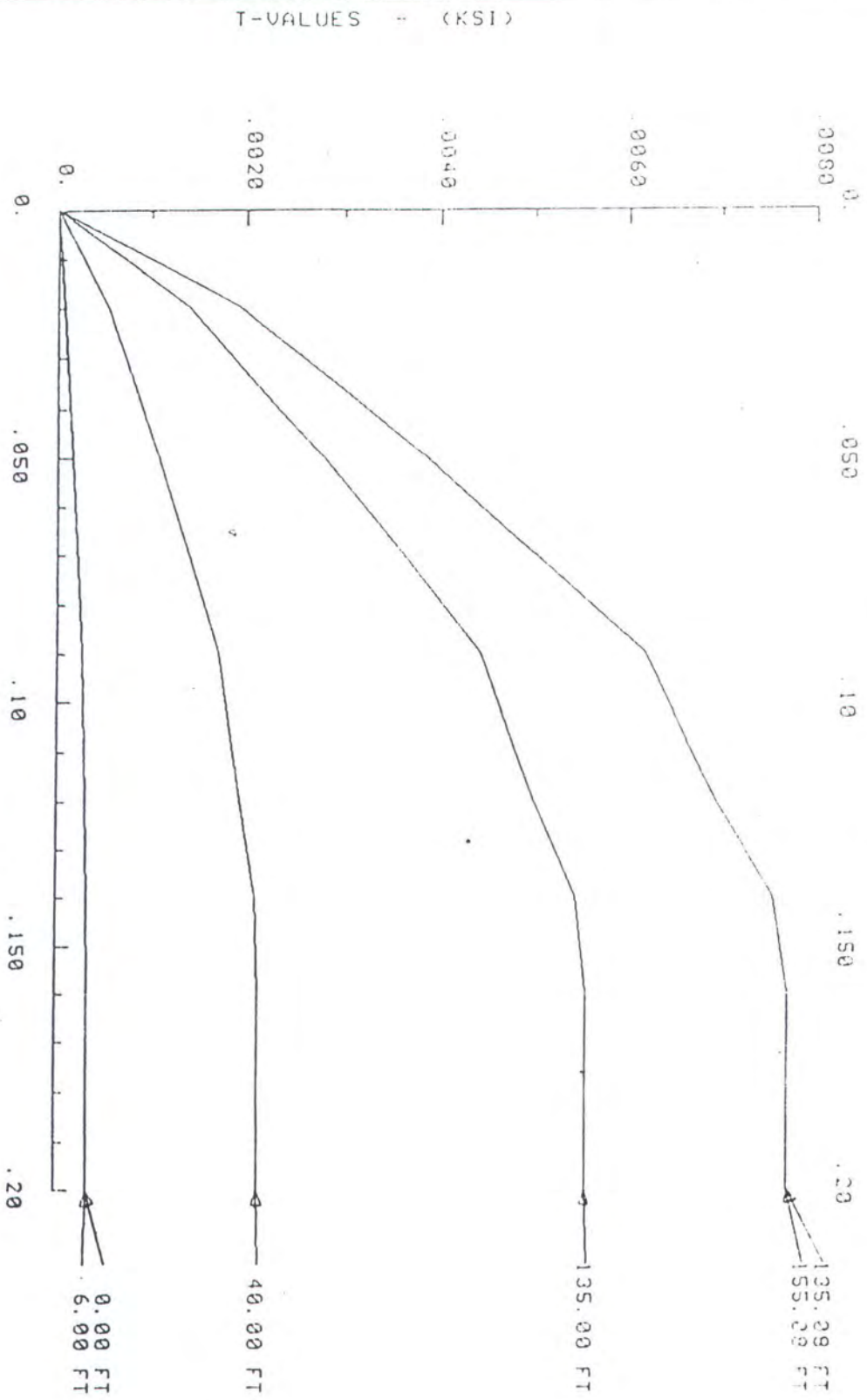
LL-68 PLATFORM LL-3 SOIL DATA

SOIL ID LL-3

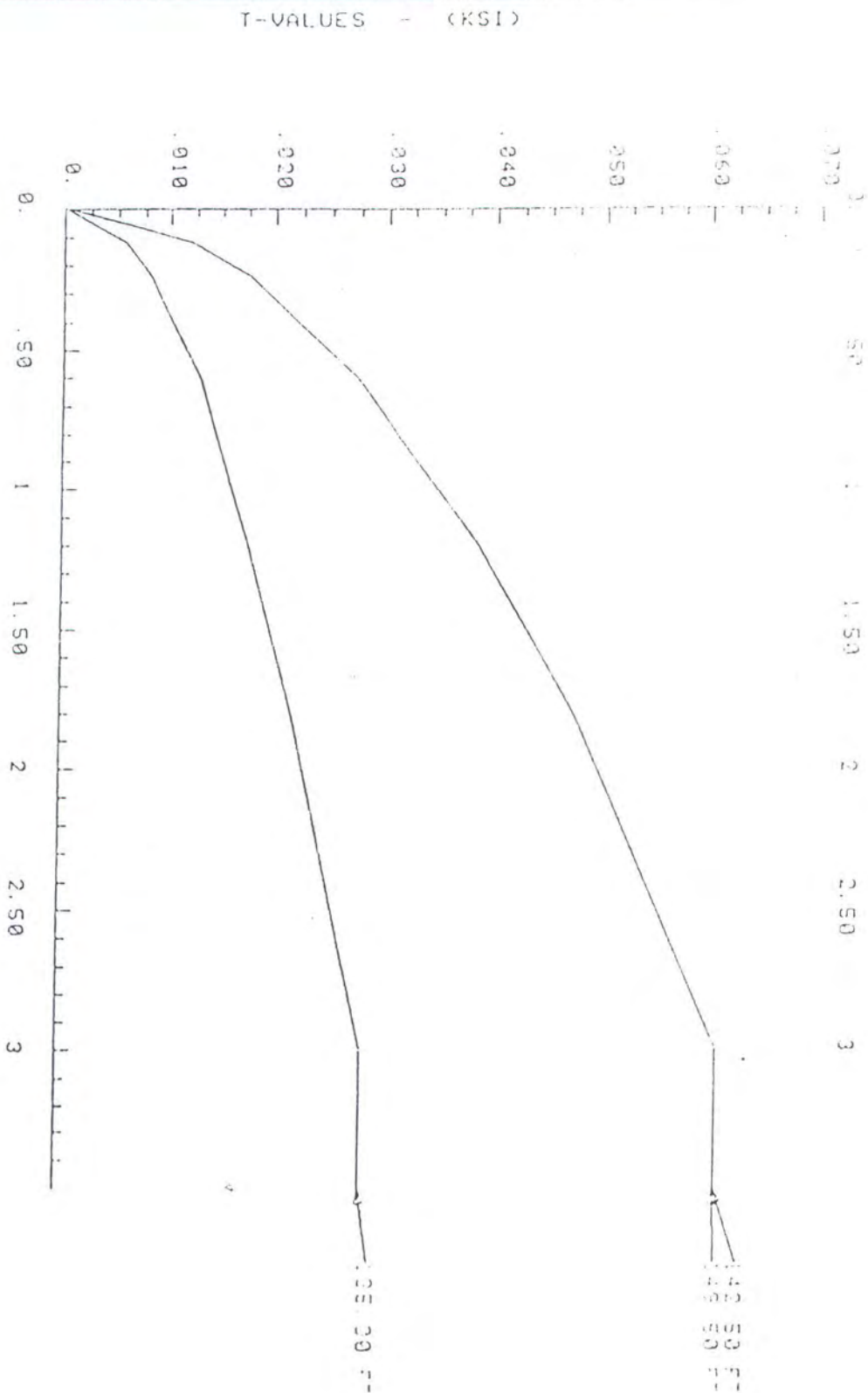
AXIAL T-Z DATA



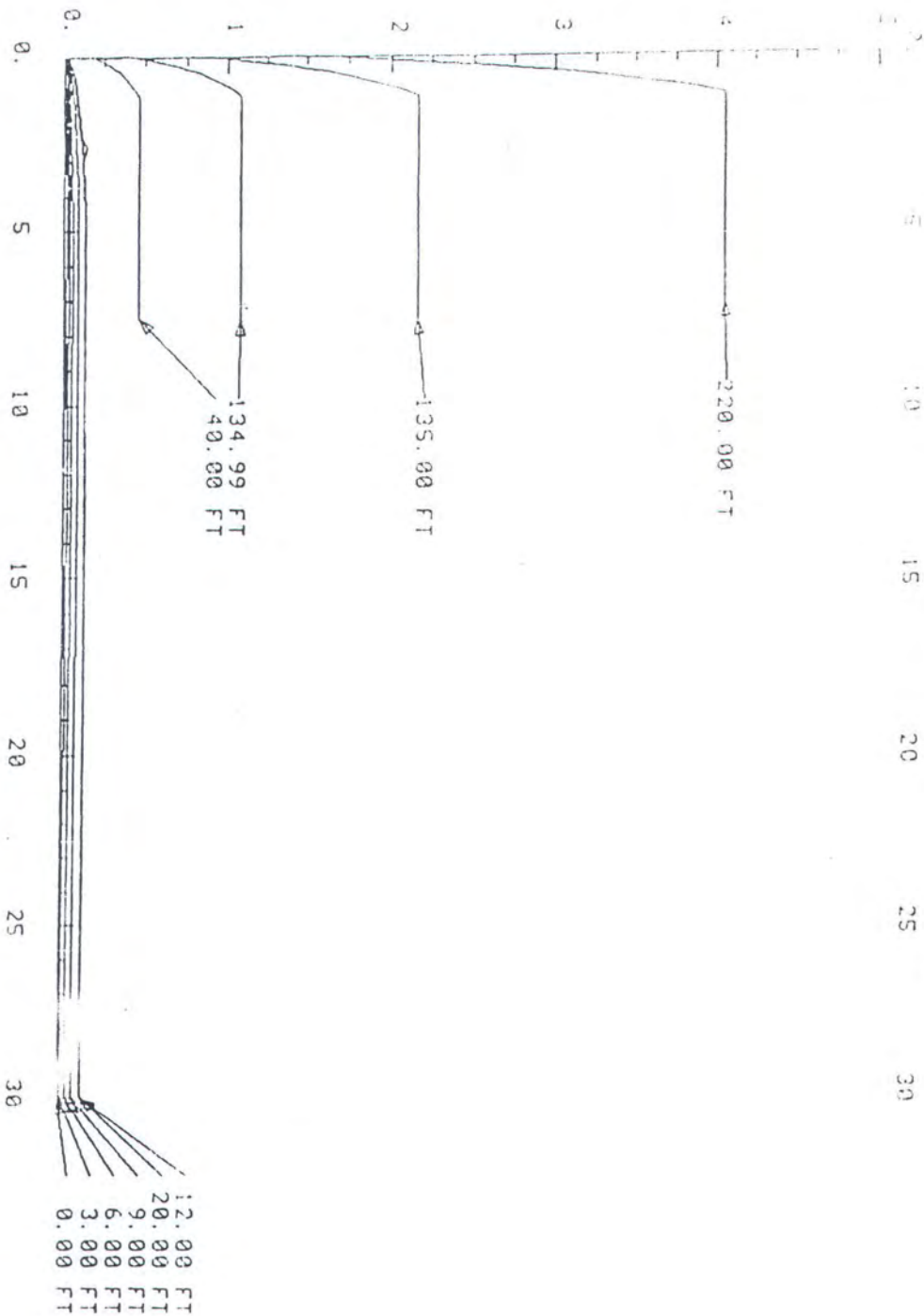
AXIAL T-Z DATA



AXIAL T-Z DATA



P-Y DATA



P-VALUES (KSI)

LAMPIRAN C
LISTING PROGRAM RAAFOSM



unit Unit1;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons, ExtCtrls;

type

TForm1 = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Bevel1: TBevel;

BitBtn1: TBitBtn;

BitBtn2: TBitBtn;

procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);

procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Form1: TForm1;

implementation

uses ucadawal;

{ \$R *.DFM }

procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);

begin

application.Terminate;

end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);

begin

form1.Hide;

hit.Show;

end;

end.

unit Uinfo;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons, ExtCtrls;

type

TFmabout = class(TForm)

Panel1: TPanel;

BitBtn1: TBitBtn;

BitBtn2: TBitBtn;

BitBtn3: TBitBtn;

procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Fmabout: TFmabout;

implementation

uses ucadawal;

{ \$R *.DFM }

procedure TFmabout.BitBtn1Click(Sender: TObject);

begin

fmabout.Close;

end;

end.

unit Ucadawal;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
Buttons, ExtCtrls, Menus, ComCtrls, StdCtrls, math;

type

Thit = class(TForm)

MainMenu1: TMainMenu; File1: TMenuItem; Open1: TMenuItem;
Close1: TMenuItem; N1: TMenuItem; Save1: TMenuItem; Print1: TMenuItem;
N2: TMenuItem; Exit1: TMenuItem; Help1: TMenuItem;
carapakai1: TMenuItem; Panel1: TPanel; SpeedButton1: TSpeedButton;
SpeedButton2: TSpeedButton; SpeedButton3: TSpeedButton;
SpeedButton4: TSpeedButton; SpeedButton5: TSpeedButton;
SpeedButton6: TSpeedButton; PageControl1: TPageControl;
TabSheet1: TTabSheet; TabSheet2: TTabSheet; TabSheet3: TTabSheet;
Image1: TImage; Label1: TLabel; Label2: TLabel; Label3: TLabel;
GroupBox1: TGroupBox; Edit2: TEdit; GroupBox2: TGroupBox; Edit3: TEdit;
Label4: TLabel; Label5: TLabel; GroupBox3: TGroupBox; Edit4: TEdit;
Label6: TLabel; GroupBox4: TGroupBox; Label7: TLabel; Edit5: TEdit;
Label8: TLabel; Panel2: TPanel; GroupBox5: TGroupBox;
GroupBox6: TGroupBox; Label9: TLabel; Edit6: TEdit; Label10: TLabel;
Label11: TLabel; Edit7: TEdit; Label12: TLabel; Bevel2: TBevel;
Label13: TLabel; Label14: TLabel; Label15: TLabel; Edit8: TEdit;
Label16: TLabel; TabSheet4: TTabSheet; GroupBox8: TGroupBox;
Label17: TLabel; Edit9: TEdit; Bevel4: TBevel; Bevel5: TBevel;
Label19: TLabel; Edit10: TEdit; Label20: TLabel; GroupBox9: TGroupBox;
Edit11: TEdit; Label18: TLabel; Bevel6: TBevel; Bevel7: TBevel;
GroupBox10: TGroupBox; Label21: TLabel; Label22: TLabel;
Label23: TLabel; Edit12: TEdit; Edit13: TEdit; Edit14: TEdit; Label24: TLabel;
Label25: TLabel; TabSheet5: TTabSheet; TabSheet6: TTabSheet;
Label26: TLabel; Image2: TImage; GroupBox11: TGroupBox; Edit15: TEdit;
GroupBox12: TGroupBox; Edit16: TEdit; GroupBox13: TGroupBox;
Edit17: TEdit; GroupBox14: TGroupBox; Edit18: TEdit; Label27: TLabel;
Label28: TLabel; Label29: TLabel; Label30: TLabel;
GroupBox15: TGroupBox; Edit19: TEdit; Label31: TLabel;
GroupBox16: TGroupBox; Label32: TLabel; Label33: TLabel; Label34: TLabel;
Label35: TLabel; Label36: TLabel; Label37: TLabel; Mean1: TEdit;
Mean2: TEdit; Mean3: TEdit; Mean4: TEdit; Mean5: TEdit; Mean6: TEdit;
GroupBox17: TGroupBox; COVA1: TEdit; COVA2: TEdit; COVA3: TEdit;
COVA4: TEdit; COVA5: TEdit; COVA6: TEdit; GroupBox18: TGroupBox;
ComboBox1: TComboBox; ComboBox2: TComboBox;
ComboBox4: TComboBox; ComboBox5: TComboBox;
ComboBox6: TComboBox; ComboBox3: TComboBox; Bevel8: TBevel;
Label38: TLabel; Label39: TLabel; Label40: TLabel; Bevel9: TBevel;
Label41: TLabel; Label42: TLabel; Label43: TLabel; Label44: TLabel;

Label45: TLabel;Label46: TLabel;Label47: TLabel;Edit32: TEdit;
Edit33: TEdit; Edit34: TEdit;Edit35: TEdit;Edit36: TEdit;Edit37: TEdit;
Edit38: TEdit;Label48: TLabel;Label49: TLabel;Label50: TLabel;
Label51: TLabel;Label52: TLabel;Label53: TLabel; Label54: TLabel;
Label55: TLabel;Label56: TLabel; Edit39: TEdit;Edit40: TEdit;
GroupBox7: TGroupBox; Edit41: TEdit; Label57: TLabel; Edit42: TEdit;
Label58: TLabel;Edit43: TEdit; Label59: TLabel; Edit44: TEdit;
Label60: TLabel; Edit45: TEdit; Label61: TLabel; GroupBox19: TGroupBox;
RadioButton1: TRadioButton; RadioButton2: TRadioButton;
GroupBox20: TGroupBox; Edit46: TEdit; Label62: TLabel; BitBtn1: TBitBtn;
SpeedButton7: TSpeedButton; Label63: TLabel; Label64: TLabel;
Label65: TLabel; Label66: TLabel; Label67: TLabel; Label68: TLabel;
Label69: TLabel; Label70: TLabel; Label71: TLabel; Label72: TLabel;
Label73: TLabel; Label74: TLabel; Label75: TLabel; Label76: TLabel;
N3: TMenuItem; ProfilProgram1: TMenuItem;Edit1: TEdit; Label77: TLabel;
Label78: TLabel; SaveDialog1: TSaveDialog;PrintDialog1: TPrintDialog;
procedure Close1Click(Sender: TObject);
procedure Exit1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton6Click(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit6Change(Sender: TObject);
procedure Edit7Change(Sender: TObject);
procedure Edit9Change(Sender: TObject);
procedure Edit39Change(Sender: TObject);
procedure Edit40Change(Sender: TObject);
procedure Edit12Change(Sender: TObject);
procedure Edit13Change(Sender: TObject);
procedure Edit14Change(Sender: TObject);
procedure Edit15Change(Sender: TObject);
procedure Edit16Change(Sender: TObject);
procedure Edit17Change(Sender: TObject);
procedure Edit41Change(Sender: TObject);
procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
procedure Edit46Change(Sender: TObject);
procedure Edit42Change(Sender: TObject);
procedure Edit43Change(Sender: TObject);
procedure Edit44Change(Sender: TObject);
procedure Edit45Change(Sender: TObject);
procedure Edit18Change(Sender: TObject);
procedure Edit14Click(Sender: TObject);
procedure Edit13Click(Sender: TObject);
procedure Edit16Click(Sender: TObject);
procedure Edit3Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton5Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton7Click(Sender: TObject);

```

procedure ProfilProgram1Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  hit: Thit;
  K,modaaksen,betaaksen,modi,B:real;
  a1,a1aksen,a2,a2aksen,a3,a3aksen,a4,a4aksen,a5,a5aksen,a6,a6aksen:real;
  z1,z2,z3,z4,z5,z6:real;derivz1,derivz2,derivz3,derivz4,derivz5,derivz6:real;
  COV1,CoV2,COV3,COV4,COV5,COV6,moda:real;FF,GG,HH,DD:real;
  S1,M1,S2,M2,S3,M3,S4,M4,S5,M5,S6,M6:real;
implementation
  uses ucadakhir,uinfo;
  {$R *.DFM}

  procedure Thit.Close1Click(Sender: TObject);
  begin
    close;
  end;

  procedure Thit.Exit1Click(Sender: TObject);
  begin
    Application.Terminate;
  end;

  procedure Thit.SpeedButton6Click(Sender: TObject);
  begin
    close;
  end;

  procedure Thit.Edit2Change(Sender: TObject);
  var
    Stebal,Sluas,Sluas2,SduIrElas,SMInersia,SLNampang:string[30];
    Sbebanangin,SBebanArus,SBebanGel,SMomenBending:string[30];
    Dluar,Ddalam,tebal,dalam,panjang,inersia,drag:single;
    MInersia,TinggiGel,PeriodeGel,KecAngin,KecArus:single;
    PjGel,LNampang,Masjenis,luas,luas1,luas2,DuIrElas:single;
    BebanAngin,BebanGel,BebanArus,MomenBending:single;
    kode:integer;const g=9.81;
  begin
    val(edit2.text,Dluar,kode);val(edit3.text,Ddalam,kode);
    val(edit6.text,Dalam,kode);val(edit7.text,Panjang,kode);
    val(edit9.text,luas1,kode);val(edit12.text,MasJenis,kode);

```



```

val(edit15.text,TinggiGel,kode);val(edit16.text,PeriodeGel,kode);
val(edit17.text,KecAngin,kode);val(edit18.text,KecArus,kode);
val(edit19.text,PjGel,kode);val(edit39.text,Inersia,kode);
val(edit40.text,Drag,kode);

tebal:=0.5*(Dluar-Ddalam);luas:=(Dluar*dalam)/1000;
luas2:= luas1+ Dluar*(Panjang-dalam)/1000;
DuIrElas:=0.5*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
    Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/(Dluar*1000000000);
MInersia:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
    Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/1000000000000;
LNampang:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar-Ddalam*Ddalam)/1000000;
BebanAngin:=0.0473*KecAngin*KecAngin*luas2*panjang/1000;

BebanArus:=7*drag*MasJenis*Dluar*KecArus*KecArus*Ddalam*Ddalam/(32*10
00);

BebanGel:=(g*TinggiGel*MasJenis*Inersia*sqrt(Dluar/1000)*
    (2*3.14*Ddalam-PjGel+PjGel*exp(-2*3.14*dalam/PjGel))/16)+
    (MasJenis*drag*(Dluar/1000)*sqrt(g)*sqrt(TinggiGel)*sqrt(PeriodeGel)*
    (4*3.14*Ddalam-PjGel+PjGel*exp(-4*4.14*Ddalam/PjGel)))/
    (128*3.14*3.14);

MomenBending:=(BebanAngin+BebanArus+BebanGel)/1000;

str(tebal:10:4,Stebal);str(luas:10:2,Sluas);str(luas2:10:2,Sluas2);
str(DuIrElas:4:4,SDuIrElas);str(MInersia:6:4,SMInersia);
Str(LNampang:10:4,SLNampang);str(BebanAngin:10:2,SBebanAngin);
str(BebanArus:10:4,SBebanArus); str(BebanGel:10:4,SBebanGel);
str(MomenBending:10:4,SMomenBending);

edit4.text:=Stebal;edit5.text:=Sluas; edit8.text:=Sluas2;
edit10.text:=SDuIrElas;edit11.Text:=SMInersia;
Mean2.Text:=SLNampang; Mean5.Text:=SDuIrElas;
edit33.Text:=SBebanAngin; edit35.text:=SBebanArus;
edit34.Text:=SBebanGel; Mean4.Text:=SMomenBending;
edit37.Text:=SMomenBending;
end;

procedure Thit.Edit3Change(Sender: TObject);
var
Stebal,Sluas,Sluas2,SduIrElas,SMInersia,SLNampang,SBebanAngin:string[30];
Dluar,Ddalam,tebal,dalam,panjang,BebanAngin:single;
MInersia,KecAngin,LNampang,luas,luas1,luas2,DuIrElas:single;
kode:integer;
begin
    val(edit2.text,Dluar,kode); val(edit3.text,Ddalam,kode);

```



```

val(edit6.text,Dalam,kode); val(edit7.text,Panjang,kode);
val(edit9.text,luas1,kode); val(edit17.text,KecAngin,kode);

```

```

tebal:=0.5*(Dluar-Ddalam); luas:=(Dluar*dalam)/1000;
luas2:= luas1+ Dluar*(Panjang-dalam)/1000;
DuIrElas:=0.5*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
    Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/(Dluar*1000000000);
MInersia:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
    Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/1000000000000;
LNampang:=0.25*3.14*(DLuar*Dluar-Ddalam*Ddalam)/1000000;
BebanAngin:=0.0473*KecAngin*KecAngin*luas2*Panjang/1000;

```

```

str(tebal:10:4,Stebal);str(luas:10:2,Sluas);str(luas2:10:2,Sluas2);
str(DuIrElas:10:4,SDuIrElas);str(MInersia:10:6,SMInersia);
Str(LNampang:10:4,SLNampang); str(BebanAngin:10:2,SBebanAngin);

```

```

edit4.text:=Stebal; edit5.text:=Sluas; edit8.text:=Sluas2;
edit10.text:=SDuIrElas;edit11.Text:=SMInersia;Mean2.Text:=SLNampang;
Mean5.Text:=SDuIrElas; edit33.Text:=SBebanAngin;
end;

```

```

procedure Thit.Edit6Change(Sender: TObject);

```

```

var

```

```

Stebal,Sluas,Sluas2,SduIrElas,SMInersia,SLNampang,SPjGel,SBebanAngin,SBe
banArus:string[30];Dluar,Ddalam,tebal,dalam,panjang,drag:single;

```

```

MInersia,PeriodeGel,KecAngin,KecArus:single;

```

```

LNampang,Masjenis,luas,luas1,luas2,DuIrElas:single;

```

```

BebanAngin,BebanArus:single;L,L1,W:extended;kode:integer;

```

```

begin

```

```

    val(edit2.text,Dluar,kode);val(edit3.text,Ddalam,kode);

```

```

    val(edit6.text,Dalam,kode); val(edit7.text,Panjang,kode);

```

```

    val(edit9.text,luas1,kode); val(edit12.text,MasJenis,kode);

```

```

    val(edit16.text,PeriodeGel,kode); val(edit17.text,KecAngin,kode);

```

```

    val(edit18.text,KecArus,kode);val(edit40.text,Drag,kode);

```

```

    tebal:=0.5*(Dluar-Ddalam); luas:=(Dluar*dalam)/1000;

```

```

    luas2:= luas1+ Dluar*(Panjang-dalam)/1000;

```

```

    DuIrElas:=0.5*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-

```

```

        Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/(Dluar*1000000000);

```

```

    MInersia:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-

```

```

        Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/1000000000000;

```

```

    LNampang:=0.25*3.14*(DLuar*Dluar-Ddalam*Ddalam)/1000000;

```

```

    BebanAngin:=0.0473*KecAngin*KecAngin*luas2*Panjang/1000;

```

```

    BebanArus:=7*drag*MasJenis*Dluar*KecArus*KecArus*Dalam*Dalam/(32*10
00);

```

```

L1:=66;
repeat
L:=(Tanh(2*3.14*Dalam/L1))*((9.81*Sqr(PeriodeGel))/(2*3.14));
W:=abs(L-L1);
L1:=L;
until W<0.0000001;
L:=L1;

str(tebal:10:4,Stebal);str(luas:10:2,Sluas); str(luas2:10:2,Sluas2);
str(DuIrElas:10:4,SDuIrElas); str(MInersia:10:6,SMInersia);
Str(LNampang:10:4,SLNampang); str(BebanAngin:10:2,SBebanAngin);
str(BebanArus:10:4,SBebanArus); str(L:10:4,SPjGel);

edit4.text:=Stebal;edit5.text:=Sluas;edit8.text:=Sluas2;
edit10.text:=SDuIrElas; edit11.Text:=SMInersia;
Mean2.Text:=SLNampang; Mean5.Text:=SDuIrElas;
edit33.Text:=SBebanAngin; edit35.text:=SBebanArus;
edit19.text:=SPjGel;
end;

procedure Thit.Edit7Change(Sender: TObject);
var
Stebal,Sluas,Sluas2,SduIrElas,SMInersia,Sbebanangin,SLNampang:string[30];
Dluar,Ddalam,tebal,dalam,panjang,BebanAngin:single;
MInersia,KecAngin,LNampang,luas,luas1,luas2,DuIrElas:single;
kode:integer;
begin
val(edit2.text,Dluar,kode); val(edit3.text,Ddalam,kode);
val(edit6.text,Dalam,kode); val(edit7.text,Panjang,kode);
val(edit9.text,luas1,kode); val(edit17.text,KecAngin,kode);

tebal:=0.5*(Dluar-Ddalam); luas:=(Dluar*dalam)/1000;
luas2:= luas1+ Dluar*(Panjang-dalam)/1000;
DuIrElas:=0.5*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/(Dluar*1000000000);
MInersia:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/1000000000000;
LNampang:=0.25*3.14*(DLuar*Dluar-Ddalam*Ddalam)/1000000;
BebanAngin:=0.0473*KecAngin*KecAngin*luas2*Panjang/1000;

str(tebal:10:4,Stebal); str(luas:10:2,Sluas);str(luas2:10:2,Sluas2);
str(DuIrElas:10:4,SDuIrElas);str(MInersia:10:6,SMInersia);
Str(LNampang:10:4,SLNampang); str(BebanAngin:10:2,SBebanAngin);

edit4.text:=Stebal;edit5.text:=Sluas;edit8.text:=Sluas2;edit10.text:=SDuIrElas;
edit11.Text:=SMInersia;Mean2.Text:=SLNampang;Mean5.Text:=SDuIrElas;
edit33.Text:=SBebanAngin;

```


end;

procedure Thit.Edit9Change(Sender: TObject);

var

Stebal,Sluas,Sluas2,SDuIrElas,SMInersia,SBebanAngin,SLNampang:string[30];

Dluar,Ddalam,tebal,dalam,panjang,MInersia,KecAngin:single;

LNampang,luas,luas1,luas2,DuIrElas,BebanAngin:single;

kode:integer;

begin

val(edit2.text,Dluar,kode);

val(edit3.text,Ddalam,kode);

val(edit6.text,Ddalam,kode);

val(edit7.text,Panjang,kode);

val(edit9.text,luas1,kode);

val(edit17.text,KecAngin,kode);

tebal:=0.5*(Dluar-Ddalam);

luas:=(Dluar*dalam)/1000;

luas2:= luas1+ Dluar*(Panjang-dalam)/1000;

DuIrElas:=0.5*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/(Dluar*1000000000);

MInersia:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/10000000000000;

LNampang:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar-Ddalam*Ddalam)/1000000;

BebanAngin:=0.0473*KecAngin*KecAngin*luas2*Panjang/1000;

str(tebal:10:4,Stebal);str(luas:10:2,Sluas); str(luas2:10:2,Sluas2);

str(DuIrElas:10:4,SDuIrElas); str(MInersia:10:6,SMInersia);

Str(LNampang:10:4,SLNampang); str(BebanAngin:10:2,SBebanAngin);

edit4.text:=Stebal;edit5.text:=Sluas; edit8.text:=Sluas2; edit10.text:=SDuIrElas;

edit11.Text:=SMInersia; Mean2.Text:=SLNampang; Mean5.Text:=SDuIrElas;

edit33.Text:=SBebanAngin;

end;

procedure Thit.Edit39Change(Sender: TObject);

var

SPjGel,SBebanGel:string[30];

Dluar,dalam,inersia,drag,TinggiGel,PeriodeGel:single;

Masjenis,PjGel,BebanGel:single;L,L1,W:extended;

kode:integer;const g=9.81;

begin

val(edit2.text,Dluar,kode);val(edit6.text,Ddalam,kode);

val(edit12.text,MasJenis,kode); val(edit15.text,TinggiGel,kode);

val(edit16.text,PeriodeGel,kode); val(edit39.text,Inersia,kode);

val(edit40.text,Drag,kode);val(edit19.text,PjGel,kode);


```

L1:=66;
repeat
L:=(Tanh(2*3.14*Dalam/L1))*((9.81*Sqr(PeriodeGel))/(2*3.14));
W:=abs(L-L1);
L1:=L;
until W<0.0000001;
L:=L1;

```

```

BebanGel:=(g*TinggiGel*MasJenis*Inersia*sqrt(Dluar/1000)*
(2*3.14*Dalam-PjGel+PjGel*exp(-2*3.14*dalam/PjGel))/16)+
(MasJenis*drag*sqrt(g)*(Dluar/1000)*sqrt(TinggiGel)*sqrt(PeriodeGel)*
(4*3.14*Dalam-PjGel+PjGel*exp(-4*4.14*Dalam/PjGel)))/
(128*3.14*3.14);

```

```

str(L:10:4,SPjGel); str(BebanGel:10:4,SBebanGel);

```

```

edit19.Text:=SPjGel;edit34.Text:=SBebanGel;
end;

```

```

procedure Thit.Edit40Change(Sender: TObject);
var
SBebanArus:string[30];
Dluar,dalam,drag,KecArus,MasJenis,BebanArus:single;
kode:integer;
begin
val(edit2.text,Dluar,kode);val(edit6.text,Dalam,kode);
val(edit12.text,MasJenis,kode);val(edit18.text,KecArus,kode);
val(edit40.text,Drag,kode);

```

```

BebanArus:=7*drag*MasJenis*Dluar*KecArus*KecArus*Dalam*Dalam/(32*10
00);

```

```

str(BebanArus:10:4,SBebanArus); edit35.text:=SBebanArus;
end;

```

```

procedure Thit.Edit12Change(Sender: TObject);
var
SBebanArus:string[30];
Dluar,dalam,drag,KecArus,MasJenis,BebanArus:single;
kode:integer;
begin
val(edit2.text,Dluar,kode); val(edit6.text,Dalam,kode);
val(edit12.text,MasJenis,kode);val(edit18.text,KecArus,kode);
val(edit40.text,Drag,kode);

```

```
BebanArus:=7*drag*MasJenis*Dluar*KecArus*KecArus*Dalam*Dalam/(32*1000);
```

```
str(BebanArus:10:4,SBebanArus);
```

```
edit35.text:=SBebanArus;
```

```
end;
```

```
procedure Thit.Edit13Change(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
Stebal,Sluas,Sluas2,SDuIrElas,SMInersia,SLNampang,STegIjinAksial:string[30];
```

```
Dluar,Ddalam,tebal,dalam,panjang:single;
```

```
MInersia,LNampang,TegIjinAksial,duElas,TegLuluh:single;
```

```
luas,luas1,luas2,DuIrElas:single;fak,fak1,fak2,Girasi:real;kode:integer;
```

```
begin
```

```
val(edit2.text,Dluar,kode);val(edit3.text,Ddalam,kode);
```

```
val(edit6.text,Dalam,kode);val(edit7.text,Panjang,kode);
```

```
val(edit9.text,luas1,kode);val(edit13.text,duElas,kode);
```

```
val(edit14.text,TegLuluh,kode);
```

```
tebal:=0.5*(Dluar-Ddalam);luas:=(Dluar*dalam)/1000;
```

```
luas2:= luas1+ Dluar*(Panjang-dalam)/1000;
```

```
DuIrElas:=0.5*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/(Dluar*1000000000);
```

```
MInersia:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/10000000000000;
```

```
LNampang:=0.25*3.14*(DLuar*Dluar-Ddalam*Ddalam)/1000000;
```

```
fak:=2*3.14*3.14*DuElas/TegLuluh;
```

```
girasi:=sqrt(Minersia/Lnampang);
```

```
fak1:=1*Panjang/Girasi;
```

```
fak2:=Sqrt(fak);
```

```
TegIjinAksial:=TegLuluh*(1-(fak1*fak1/(2*fak2*fak2)))/(5/3+(3*fak1/(8*fak2))-(Fak1*fak1*fak1/(8*fak2*fak2*fak2)));
```

```
str(tebal:10:4,Stebal); str(luas:10:2,Sluas); str(luas2:10:2,Sluas2);
```

```
str(DuIrElas:10:4,SDuIrElas); str(MInersia:10:6,SMInersia);
```

```
Str(LNampang:10:4,SLNampang); str(TegIjinAksial:10:2,STegIjinAksial);
```

```
edit4.text:=Stebal; edit5.text:=Sluas; edit8.text:=Sluas2; edit10.text:=SDuIrElas;
```

```
edit11.Text:=SMInersia; Mean2.Text:=SLNampang; Mean5.Text:=SDuIrElas;
```

```
Mean3.Text:=STegIjinAksial; edit36.Text:=STegIjinAksial;
```

```
end;
```

```
procedure Thit.Edit14Change(Sender: TObject);
```

```
var
```



```

Stebal,Sluas,Sluas2,SduIrElas,SMInersia,SLNampang:string;
STBIjin,STegIjinAksial:string[30];
Dluar,Ddalam,tebal,dalam,panjang,MInersia,LNampang,TegIjinAksial:single;TBI
jin,duElas,TegLuluh,luas,luas1,luas2,DuIrElas:single;fak,fak1,fak2,girasi:real;kod
e:integer;
begin
    val(edit2.text,Dluar,kode); val(edit3.text,Ddalam,kode);
    val(edit6.text,Ddalam,kode); val(edit7.text,Panjang,kode);
    val(edit9.text,luas1,kode); val(edit13.text,duElas,kode);
    val(edit14.text,TegLuluh,kode);

    tebal:=0.5*(Dluar-Ddalam); luas:=(Dluar*dalam)/1000;
    luas2:= luas1+ Dluar*(Panjang-dalam)/1000;
    DuIrElas:=0.5*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
        Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/(Dluar*1000000000);
    MInersia:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar*Dluar*Dluar-
        Ddalam*Ddalam*Ddalam*Ddalam)/1000000000000;
    LNampang:=0.25*3.14*(Dluar*Dluar-Ddalam*Ddalam)/1000000;
    TBIjin:=0.75*TegLuluh;

    fak:=2*3.14*3.14*DuElas/TegLuluh;
    girasi:=sqrt(MInersia/LNampang);
    fak1:=1*Panjang/Girasi;
    fak2:=Sqrt(fak);
    TegIjinAksial:=TegLuluh*(1-(fak1*fak1/(2*fak2*fak2)))/(5/3+
        (3*fak1/(8*fak2))-(Fak1*fak1*fak1/(8*fak2*fak2*fak2)));

    str(tebal:10:4,Stebal);str(luas:10:2,Sluas); str(luas2:10:2,Sluas2);
    str(DuIrElas:10:4,SDuIrElas); str(MInersia:10:6,SMInersia);
    Str(LNampang:10:4,SLNampang); str(TBIjin:10:2,STBIjin);
    str(TegIjinAksial:10:2,STegIjinAksial);

    edit4.text:=Stebal; edit5.text:=Sluas; edit8.text:=Sluas2;
    edit10.text:=SDuIrElas; edit11.Text:=SMInersia;Mean2.Text:=SLNampang;
    Mean5.Text:=SDuIrElas; Mean6.Text:=STBIjin; edit38.Text:=STBIjin;
    Mean3.Text:=STegIjinAksial; edit36.Text:=STegIjinAksial;

end;

procedure Thit.Edit15Change(Sender: TObject);
var
    SPjGel:String[30];
    SBebanAngin,SBebanArus,SBebanGel,SMomenBending:string[30];
    Dluar,dalam,panjang,inersia,drag:single;
    TinggiGel,PeriodeGel,KecAngin,KecArus:single;
    PjGel,Masjenis,luas1,luas2:single;
    BebanAngin,BebanGel,BebanArus,MomenBending:single;kode:integer;

```


L,L1,W:extended;

const g=9.81;

begin

val(edit2.text,Dluar,kode);val(edit6.text,Dalam,kode);
val(edit7.text,Panjang,kode); val(edit9.text,luas1,kode);
val(edit12.text,MasJenis,kode);val(edit15.text,TinggiGel,kode);
val(edit16.text,PeriodeGel,kode);val(edit17.text,KecAngin,kode);
val(edit18.text,KecArus,kode);val(edit39.text,Inersia,kode);
val(edit40.text,Drag,kode); val(edit19.text,PjGel,kode);

luas2:= luas1 + Dluar*(Panjang-dalam)/1000;

BebanAngin:=0.0473*KecAngin*KecAngin*luas2*Panjang/1000;

BebanArus:=7*drag*MasJenis*Dluar*KecArus*KecArus*Dalam*Dalam/(32*1000);

L1:=66;

repeat

L:=(Tanh(2*3.14*Dalam/L1))*((9.81*Sqr(PeriodeGel))/(2*3.14));

W:=abs(L-L1);

L1:=L;

until W<0.0000001;

L:=L1;

BebanGel:=(g*TinggiGel*MasJenis*Inersia*sqrt(Dluar/1000)*
(2*3.14*Dalam-PjGel+PjGel*exp(-2*3.14*dalam/PjGel))/16)+
(MasJenis*drag*sqrt(g)*sqrt(TinggiGel)*sqrt(PeriodeGel)*(Dluar/1000)*
(4*3.14*Dalam-PjGel+PjGel*exp(-4*3.14*Dalam/PjGel)))/
(128*3.14*3.14);

MomenBending:=(BebanAngin+BebanArus+BebanGel)/1000;

str(BebanAngin:10:2,SBebanAngin); str(BebanArus:10:4,SBebanArus);

str(L:10:4,SPjGel);str(BebanGel:10:4,SBebanGel);

str(MomenBending:10:4,SMomenBending);

edit33.Text:=SBebanAngin;edit35.text:=SBebanArus;

edit19.Text:=SPjGel; edit34.Text:=SBebanGel; Mean4.Text:=SMomenBending;

edit37.Text:=SMomenBending;

end;

procedure Thit.Edit16Change(Sender: TObject);

var

SPjGel:string[30];dalam,PeriodeGel:single;L,L1,W:extended;kode:integer;

begin

val(edit6.text,Dalam,kode); val(edit16.text,PeriodeGel,kode);

```

L1:=66;
repeat
L:=(Tanh(2*3.14*Dalam/L1))*((9.81*Sqr(PeriodeGel))/(2*3.14));
W:=abs(L-L1);
L1:=L;
until W<0.0000001;
L:=L1;

str(L:10:4,SPjGel);

edit19.Text:=SPjGel;

end;

procedure Thit.Edit17Change(Sender: TObject);
var
SBebanAngin,SBebanArus,SBebanGel,SPjGel,SMomenBending:string[30];
Dluar,PjGel,dalam,panjang,inersia,drag:single;
TinggiGel,PeriodeGel,KecAngin,KecArus,Masjenis:single;
luas1,luas2,BebanAngin,BebanGel,BebanArus,MomenBending:single;
L,L1,W:extended;kode:integer;
const g=9.81;
begin
val(edit2.text,Dluar,kode);val(edit6.text,Dalam,kode);
val(edit7.text,Panjang,kode); val(edit9.text,luas1,kode);
val(edit12.text,MasJenis,kode);val(edit15.text,TinggiGel,kode);
val(edit16.text,PeriodeGel,kode);val(edit17.text,KecAngin,kode);
val(edit18.text,KecArus,kode);val(edit39.text,Inersia,kode);
val(edit40.text,Drag,kode);val(edit19.text,PjGel,kode);

luas2:= luas1+ Dluar*(Panjang-dalam)/1000;
BebanAngin:=0.0473*KecAngin*KecAngin*luas2*Panjang/1000;

BebanArus:=7*drag*MasJenis*Dluar*KecArus*KecArus*Dalam*Dalam/(32*10
00);

L1:=66;
repeat
L:=(Tanh(2*3.14*Dalam/L1))*((9.81*Sqr(PeriodeGel))/(2*3.14));
W:=abs(L-L1);
L1:=L;
until W<0.0000001;
L:=L1;

BebanGel:=(g*TinggiGel*MasJenis*Inersia*sqrt(Dluar/1000)*
(2*3.14*Dalam-PjGel+PjGel*exp(-2*3.14*dalam/PjGel))/16)+
(MasJenis*drag*sqrt(g)*sqrt(TinggiGel)*sqrt(PeriodeGel)*(Dluar/1000)*

```

```

(4*3.14*Dalam-PjGel+PjGel*exp(-4*4.14*Dalam/PjGel)))/
(128*3.14*3.14);

```

```

MomenBending:=(BebanAngin+BebanArus+BebanGel)/1000;

```

```

str(BebanAngin:10:2,SBebanAngin); str(BebanArus:10:4,SBebanArus);
str(L:10:4,SPjGel); str(BebanGel:10:4,SBebanGel);
str(MomenBending:10:4,SMomenBending);

```

```

edit33.Text:=SBebanAngin;edit35.text:=SBebanArus;
edit19.Text:=SPjGel;edit34.Text:=SBebanGel;
Mean4.Text:=SMomenBending;edit37.Text:=SMomenBending;
end;

```

```

procedure Thit.Edit41Change(Sender: TObject);

```

```

var

```

```

SGayaAksial:string[30];

```

```

gayaaksial,BDead,BKaki,BAnjung,BLive,BLand,BTambah,BTotal:single;

```

```

kode:integer;

```

```

begin

```

```

    val(edit41.text,BKaki,kode); val(edit42.text,BAnjung,kode);

```

```

    val(edit43.text,BLive,kode); val(edit44.text,BLand,kode);

```

```

    val(edit45.text,BTambah,kode); val(edit1.text,BDead,kode);

```

```

    val(edit46.text,BTotal,kode);

```

```

    if radiobutton1.Checked then

```

```

        begin

```

```

            edit41.Enabled:=true; edit42.Enabled:=true; edit43.Enabled:=true;

```

```

            edit44.Enabled:=true;edit45.Enabled:=true;edit1.Enabled:=true;

```

```

            edit46.Enabled:=false;

```

```

            gayaaksial:=(BKaki+BAnjung+BLive+BDead+BLand+Btambah)/1000;

```

```

        end

```

```

        else

```

```

            begin

```

```

                edit41.Enabled:=false;edit42.Enabled:=false; edit43.Enabled:=false;

```

```

                edit44.Enabled:=false; edit45.Enabled:=false; edit1.Enabled:=false;

```

```

                edit46.Enabled:=true; gayaaksial:=Btotal;

```

```

            end;

```

```

str(gayaaksial:10:2,SGayaaksial);

```

```

Mean1.Text:=SGayaAksial;edit32.text:=SgayaAksial
end;

```

```

procedure Thit.RadioButton1Click(Sender: TObject);

```

```

var

```

```

SGayaAksial:string[30];

```

```

gayaaksial,BDead,BKaki,BAnjung,BLive,BLand,BTambah,BTotal:single;

```



```

kode:integer;
begin
val(edit41.text,BKaki,kode);val(edit42.text,BAnjung,kode);
val(edit43.text,BLive,kode);val(edit44.text,BLand,kode);
val(edit45.text,BTambah,kode);val(edit1.text,BDead,kode);
val(edit46.text,BTotal,kode);

if radiobutton1.Checked then
begin
edit41.Enabled:=true;edit42.Enabled:=true;
edit43.Enabled:=true;edit44.Enabled:=true;
edit45.Enabled:=true;edit1.Enabled:=true;edit46.Enabled:=false;
gayaaksial:=(Bkaki+Banjung+Blive+BDead+BLand+Btambah)/1000;
end
else
begin
edit41.Enabled:=false; edit42.Enabled:=false; edit43.Enabled:=false;
edit44.Enabled:=false; edit45.Enabled:=false; edit1.Enabled:=false;
edit46.Enabled:=true;gayaaksial:=Btotal;
end;

str(gayaaksial:10:2,SGayaaksial);

Mean1.Text:=SGayaAksial; edit32.text:=SgayaAksial; edit41.SetFocus;
end;

procedure Thit.RadioButton2Click(Sender: TObject);
var
SGayaAksial:string[30];
gayaaksial,BKaki,BAnjung,BLive,BDead,BLand,BTambah,BTotal:single;
kode:integer;
begin
val(edit41.text,BKaki,kode);val(edit42.text,BAnjung,kode);
val(edit43.text,BLive,kode);val(edit44.text,BLand,kode);
val(edit45.text,BTambah,kode);val(edit1.text,BDead,kode);
val(edit46.text,BTotal,kode);

if radiobutton2.Checked then
begin
edit41.Enabled:=false; edit42.Enabled:=false; edit43.Enabled:=false;
edit44.Enabled:=false; edit45.Enabled:=false; edit1.Enabled:=false;
edit46.Enabled:=true; gayaaksial:=BTotal;
end
else
begin
edit41.Enabled:=true; edit42.Enabled:=true; edit43.Enabled:=true;
edit44.Enabled:=true edit45.Enabled:=true; edit1.Enabled:=true;
edit46.Enabled:=false;

```

```

gayaaksial:=(Bkaki+Banjung+Blive+BDead+BLand+Btambah)/1000;
end;

str(gayaaksial:10:2,SGayaaksial);

Mean1.Text:=SGayaAksial;edit32.text:=SgayaAksial;
edit46.SetFocus;
end;

procedure Thit.Edit46Change(Sender: TObject);
var
SGayaAksial:string[30];
gayaaksial,BKaki,BDead,BAnjung,BLive,BLand,BTambah,BTotal:single;
kode:integer;
begin
    val(edit41.text,BKaki,kode);val(edit42.text,BAnjung,kode);
    val(edit43.text,BLive,kode); val(edit44.text,BLand,kode);
    val(edit45.text,BTambah,kode); val(edit1.text,BDead,kode);
    val(edit46.text,BTotal,kode);

    if radiobutton1.Checked then
        begin
            edit41.Enabled:=true; edit42.Enabled:=true; edit43.Enabled:=true;
            edit44.Enabled:=true; edit45.Enabled:=true; edit1.Enabled:=true;
            edit46.Enabled:=false;
            gayaaksial:=(Bkaki+Banjung+Blive+BDead+BLand+Btambah)/1000;
        end
    else
        begin
            edit41.Enabled:=false; edit42.Enabled:=false; edit43.Enabled:=false;
            edit44.Enabled:=false; edit45.Enabled:=false; edit1.Enabled:=false;
            edit46.Enabled:=true; gayaaksial:=Btotal;
        end;

    str(gayaaksial:10:2,SGayaaksial);

    mean1.Text:=SGayaAksial; edit32.text:=SgayaAksial;
end;

procedure Thit.Edit42Change(Sender: TObject);
var
SGayaAksial:string[30];
gayaaksial,BKaki,BDead,BAnjung,BLive,BLand,BTambah,BTotal:single;
kode:integer;
begin
    val(edit41.text,BKaki,kode);val(edit42.text,BAnjung,kode);
    val(edit43.text,BLive,kode);val(edit44.text,BLand,kode);
    val(edit45.text,BTambah,kode);val(edit1.text,BDead,kode);

```

```
begin
edit3.SelectAll;
end;
```

```
procedure Thit.SpeedButton5Click(Sender: TObject);
begin
```

```
fmabout.Show;
end;
```

```
procedure Thit.BitBtn1Click(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
kode:integer;
```

```
begin
```

```
val(Mean1.text,M1,kode);
```

```
val(Mean2.text,M2,kode);
```

```
val(Mean3.text,M3,kode);
```

```
val(Mean4.text,M4,kode);
```

```
val(Mean5.text,M5,kode);
```

```
val(Mean6.text,M6,kode);
```

```
val(COVA1.text,COV1,kode);
```

```
val(COVA2.text,COV2,kode);
```

```
val(COVA3.text,COV3,kode);
```

```
val(COVA4.text,COV4,kode);
```

```
val(COVA5.text,COV5,kode);
```

```
val(COVA6.text,COV6,kode);
```

```
S1:=COV1*M1;
```

```
S2:=COV2*M2;
```

```
S3:=COV3*M3;
```

```
S4:=COV4*M4;
```

```
S5:=COV5*M5;
```

```
S6:=COV6*M6;
```

```
has.Show;
```

```
end;
```

```
procedure Thit.SpeedButton7Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
hit.Hide;
```

```
has.Show;
```

```
end;
```

```
procedure Thit.ProfilProgram1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
pagecontrol1.ActivePage:=tabsheet1;
```

```
end;
```

```
procedure Thit.Edit1Change(Sender: TObject);
```



```

var
SGayaAksial:string[30];
gayaaksial,BKaki,BAnjung,BLive,BDead,BLand,BTambah,BTotal:single;
kode:integer;
begin
    val(edit41.text,BKaki,kode);
    val(edit42.text,BAnjung,kode);
    val(edit43.text,BLive,kode);
    val(edit44.text,BLand,kode);
    val(edit45.text,BTambah,kode);
    val(edit46.text,BTotal,kode);
    val(edit1.text,BDead,kode);

    if radiobutton1.Checked then
        begin
            edit41.Enabled:=true;
            edit42.Enabled:=true;
            edit43.Enabled:=true;
            edit44.Enabled:=true;
            edit45.Enabled:=true;
            edit1.Enabled:=true;
            edit46.Enabled:=false;
            gayaaksial:=(BKaki+BAnjung+BDead+BLive+BLand+Btambah)/1000;
        end
    else
        begin
            edit41.Enabled:=false;
            edit42.Enabled:=false;
            edit43.Enabled:=false;
            edit44.Enabled:=false;
            edit45.Enabled:=false;
            edit1.Enabled:=false;
            edit46.Enabled:=true;
            gayaaksial:=Btotal;
        end;

    str(gayaaksial:10:2,SGayaaksial);

    Mean1.Text:=SGayaAksial;
    edit32.text:=SgayaAksial;

end;

end.

```

unit Ucadakhir;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ComCtrls, Buttons, ExtCtrls, Menus, Grids, StdCtrls, math, DBGrids, Db,
DBTables;

type

```
Thas = class(TForm)
  MainMenu1: TMainMenu;
  File1: TMenuItem; Help1: TMenuItem; Buka1: TMenuItem;
  Tutup1: TMenuItem; N1: TMenuItem; Simpan1: TMenuItem;
  Cetak1: TMenuItem; N2: TMenuItem; KeluarProgram1: TMenuItem;
  carapakai1: TMenuItem; Panel1: TPanel; SpeedButton1: TSpeedButton;
  SpeedButton2: TSpeedButton; SpeedButton3: TSpeedButton;
  SpeedButton4: TSpeedButton; SpeedButton5: TSpeedButton;
  SpeedButton6: TSpeedButton; PageControl1: TPageControl;
  TabSheet2: TTabSheet; TabSheet3: TTabSheet; StringGrid1: TStringGrid;
  GroupBox1: TGroupBox; Label1: TLabel; Edit2: TEdit; BitBtn1: TBitBtn;
  BitBtn2: TBitBtn; Bevel1: TBevel; SpeedButton7: TSpeedButton;
  GroupBox2: TGroupBox; GroupBox3: TGroupBox; Edit3: TEdit;
  Label2: TLabel; Edit4: TEdit; Label3: TLabel; Label4: TLabel; Edit5: TEdit;
  TabSheet1: TTabSheet; TabelMHS: TTable; dsMHS: TDataSource;
  Grid1: TDBGrid; Edit6: TEdit; Label5: TLabel; Bevel2: TBevel; Label6: TLabel;
  Label7: TLabel;
  procedure SpeedButton6Click(Sender: TObject);
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure StringGrid1SelectCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
  procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
  procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton7Click(Sender: TObject);
  procedure Edit3Change(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton5Click(Sender: TObject);
  procedure Edit5Change(Sender: TObject);
```

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

Sbaris, Skolom: longint;

end;

var

has: Thas;

implementation

uses ucadawal,uinfo;

{ \$R *.DFM }

procedure Thas.SpeedButton6Click(Sender: TObject);

begin

Application.Terminate;

end;

procedure Thas.FormCreate(Sender: TObject);

var

baris,kolom:byte;

begin

with stringgrid1 do

begin

cells[0,1]:='Beta';

for baris:=2 to 8 do

begin

Cells[0,baris]:='a'+ inttostr(baris-1);

end;

cells[0,8]:='Selisih Beta';

cells[1,0]:='Terkaan Awal';

for kolom:= 2 to 7 do

begin

cells[kolom,0]:='Iterasi Ke-'+inttostr(kolom-1);

end;

end;

end;

procedure Thas.StringGrid1SelectCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;

var CanSelect: Boolean);

begin

if Acol=1 then

begin

edit2.Text:=stringgrid1.Cells[Skolom,Sbaris];

Skolom:=ACol;

Sbaris:=ARow;

edit2.SetFocus;

end;

end;

procedure Thas.BitBtn1Click(Sender: TObject);

begin

stringgrid1.Cells[Skolom,Sbaris]:=edit2.Text;

end;


```

procedure Thas.BitBtn2Click(Sender: TObject);
var
s:string;
kolom:byte;
begin
with stringgrid1 do
begin
b:=strtofloat(cells[1,1]);
a1:=strtofloat(cells[1,2]);
a2:=strtofloat(cells[1,3]);
a3:=strtofloat(cells[1,4]);
a4:=strtofloat(cells[1,5]);
a5:=strtofloat(cells[1,6]);
a6:=strtofloat(cells[1,7]);
end;
betaaksen:=0.0;
modaaksen:=0.0;
kolom:=1;
screen.Cursor:=crHourglass;
repeat
inc(kolom);
stringgrid1.ColCount:=kolom+1;
stringgrid1.Cells[kolom,0]:='iterasi ke'+inttostr(kolom-1);

z1:=B*a1;
z2:=B*a2;
z3:=B*a3;
Z4:=B*a4;
z5:=B*a5;
z6:=B*a6;

betaaksen:=B;
modaaksen:=moda;

a1aksen:=a1;
a2aksen:=a2;
a3aksen:=a3;
a4aksen:=a4;
a5aksen:=a5;
a6aksen:=a6;

derivz1:=-s1/((z2*S2+M2)*(z3*S3+M3));
derivz2:=(z1*S1+M1)/(S2*(z3*S3+M3)*sqr((z2*S2+M2)*(z3*S3+M3)));
derivz3:=(z1*S1+M1)/(S3*(z2*S2+M2)*sqr((z2*S2+M2)*(z3*S3+M3)));
derivz4:=-s4/((z5*S5+M5)*(z6*S6+M6));
derivz5:=(z4*S4+M4)/(S5*(z6*S6+M6)*sqr((z5*S5+M5)*(z6*S6+M6)));
derivz6:=(z4*S4+M4)/(S6*(z5*S5+M5)*sqr((z5*S5+M5)*(z6*S6+M6)));

```

```
K:=sqrt(sqrt(derivz1)+sqrt(derivz2)+sqrt(derivz3)+sqrt(derivz4)+sqrt(derivz5)+
sqrt(derivz6));
```

```
a1:=-derivz1/k;
```

```
a2:=-derivz2/k;
```

```
a3:=-derivz3/k;
```

```
a4:=-derivz4/k;
```

```
a5:=-derivz5/k;
```

```
a6:=-derivz6/k;
```

```
FF:=B*B*B*a2*a3*a5*a6*S2*S3*S6;
```

```
HH:=B*B*(a2*a3*a5*S2*S3*S5*M6+a2*a3*a6*S2*S3*S6*M5+a2*a5*a6*S2*
S5*S6*M3+
a3*a5*a6*S3*S5*S6*M4-a1*a5*a6*S1*S5*S6-a2*a3*a4*S2*S3*S4);
```

```
GG:=B*(a2*a3*S2*S3*M5*M6+a2*a5*S2*S5*M3*M6+a2*a6*S2*S6*M3*M5
+a3*a5*S3*S5*M2*M6+
a3*a6*S3*S6*M2*M5+a5*a6*S5*S6*M2*M3-a1*a5*S1*S5*M6-
a1*a6*S1*S6*M5-
a5*a6*S5*S6*M1-a2*a4*S2*S4*M3-a3*a4*S3*S4*M2-a2*a3*S2*S3*M4);
```

```
DD:=a2*S2*M3*M5*M6+a3*S3*M2*M5*M6+a5*S5*M2*M3*M6+a6*S6*M2
*M3*M5-a1*S1*M5*M6-
a5*S5*M1*M6-a6*S6*M1*M5-a4*S4*M2*M3-a2*S2*M3*M4-
a3*S3*M2*M4;
```

```
B:=(M1*M5*M6+M2*M3*M4-M2*M3*M5*M6)/(FF+GG+HH+DD);
moda:=1-((B*a1*S1+M1)/((B*a2*S2+M2)*(B*a3*S3+M3)))-
((B*a4*S4+M4)/((B*a5*S5+M5)*(B*a6*S6+M6)));
```

```
with stringgrid1 do
```

```
begin
```

```
modi:=B-betaaksen;
```

```
str(b:8:8,s);
```

```
cells[kolom,1]:=s;
```

```
edit5.Text:=s;
```

```
str(a1:8:8,s);
```

```
cells[kolom,2]:=s;
```

```
str(a2:8:8,s);
```

```
cells[kolom,3]:=s;
```

```
str(a3:8:8,s);
```

```
cells[kolom,4]:=s;
```

```
str(a4:8:8,s);
```

```
cells[kolom,5]:=s;
```

```
str(a5:8:8,s);
```

```
cells[kolom,6]:=s;
```

```
str(a6:8:8,s);
```

```

cells[kolom,7]:=s;
str(modi:8:8,s);
cells[kolom,8]:=s;
end;
until abs(modi)<=0.00001;
screen.cursor:=crDefault;
end;

```

```

procedure Thas.SpeedButton7Click(Sender: TObject);
begin
has.Hide;
hit.Show;
end;

```

```

procedure Thas.Edit3Change(Sender: TObject);
var
Sroti:string[30];
kue,roti:single;
kode:integer;
begin
val(edit3.text,kue,kode);
roti:=1-kue;
str(roti:4:2,Sroti);
edit4.Text:=Sroti;
end;

```

```

procedure Thas.SpeedButton5Click(Sender: TObject);
begin
fmabout.Show;
end;

```

```

procedure Thas.Edit5Change(Sender: TObject);
var
Sandal:string[30];
andal:single;
kode:integer;
begin
val(edit5.text,andal,kode);
str(andal:4:2,Sandal);
edit6.Text:=Sandal;

```

```

tabelmhs.SetKey;
tabelmhs.Fields[0].AsString:=edit6.Text;
tabelmhs.GotoKey;
edit3.Text:=tabelmhs.Fieldbyname('Keandalan').asString;
end;
end.

```


LAMPIRAN D

ITERASI INDEKS KEANDALAN (BETHA) HASIL RUNNING
UNTUK BEBERAPA CONTOH KASUS

Iterasi indeks keandalan hasil running program

Untuk data input variabel perubah dasar seperti nampak pada bab III maka hasil runningnya adalah sebagai berikut:

	terkaan awal	iterasi ke1	iterasi ke2	iterasi ke3	iterasi ke4	iterasi ke5	iterasi ke6	iterasi ke7
beta	1	5.06906331	6.10992924	6.52788089	6.68762687	6.75015214	6.77480805	6.78455392
a1	1	0.19087636	0.03349824	0.01475562	0.01140584	0.01032710	0.00993063	0.00977800
a2	1	-0.07391597	-0.01271045	-0.00452136	-0.00337247	-0.00303513	-0.00291303	-0.00286623
a3	1	-0.06047670	-0.01280041	-0.00452111	-0.00337247	-0.00303513	-0.00291303	-0.00286623
a4	1	0.51153212	0.16971694	0.11789114	0.10354443	0.09818870	0.09614563	0.09534775
a5	1	-0.64419107	-0.66633732	-0.72364657	-0.68445711	-0.71992255	-0.68873663	-0.71728519
a6	-1	-0.52706542	-0.72508152	-0.67983727	-0.72155677	-0.68698285	-0.71852786	-0.69014399
selisih beta	1	4.06906331	1.04086593	0.41795165	0.15974597	0.06252528	0.02465591	0.00974587

	iterasi ke8	iterasi ke9	iterasi ke10	iterasi ke11	iterasi ke12	iterasi ke13	iterasi ke14
beta	6.78839714	6.78990082	6.79047839	6.79069095	6.79076108	6.79077690	6.79077305
a1	0.00971843	0.00969521	0.00968629	0.00968300	0.00968191	0.00968166	0.00968171
a2	-0.00284799	-0.00284089	-0.00283816	-0.00283715	-0.00283681	-0.00283673	-0.00283674
a3	-0.00284799	-0.00284089	-0.00283816	-0.00283715	-0.00283681	-0.00283673	-0.00283674
a4	0.09503573	0.09491485	0.09486931	0.09485328	0.09484866	0.09484829	0.09484937
a5	-0.69135822	-0.71512688	-0.69342058	-0.71331870	-0.69512593	-0.71180031	-0.69654922
a6	-0.71615735	-0.69244102	-0.71418330	-0.69431220	-0.71252638	-0.69586945	-0.71113497
selisih beta	0.00384321	0.00150368	0.00057757	0.00021256	0.00007014	0.00001581	-0.00000385

- Nilai gaya aksial rata-rata = 3.0706 MN, dan besarnya perubah dasar yang lain tetap.

	terkaan awal	iterasi ke1	iterasi ke2	iterasi ke3	iterasi ke4	iterasi ke5	iterasi ke6	iterasi ke7	iterasi ke8
beta	1	4.54979892	5.56119923	6.02485339	6.21419255	6.28958786	6.31949932	6.33137922	6.33609591
a1	1	0.34807638	0.09676316	0.04145211	0.03051469	0.02716008	0.02594489	0.02547779	0.02529458
a2	1	-0.13479094	-0.04326048	-0.01421032	-0.00945279	-0.00825003	-0.00783615	-0.00767936	-0.00761816
a3	-1	-0.11028350	-0.04377437	-0.01420616	-0.00945281	-0.00825003	-0.00783615	-0.00767936	-0.00761816
a4	1	0.48231009	0.21345611	0.14293826	0.12404647	0.11682508	0.11405879	0.11297246	0.11254333
a5	1	-0.60739070	-0.66264348	-0.71339075	-0.69062385	-0.71005878	-0.69573303	-0.70743130	-0.69821518
a6	-1	-0.49695603	-0.70865318	-0.68448540	-0.71171716	-0.69375401	-0.70862557	-0.69714497	-0.70645147
selisih beta	1	3.54979892	1.01140031	0.46365417	0.18933915	0.07539532	0.02991146	0.01187989	0.00471669

	iterasi ke9	iterasi ke10	iterasi ke11	iterasi ke12	iterasi ke13	iterasi ke14	iterasi ke15	iterasi ke16
beta	5.79306375	5.79414499	5.79458814	5.79476974	5.79484416	5.79487465	5.79488714	5.79489225
a1	0.05258632	0.05250345	0.05246952	0.05245562	0.05244993	0.05244759	0.05244664	0.05244625
a2	-0.01651597	-0.01648473	-0.01647195	-0.01646671	-0.01646457	-0.01646369	-0.01646333	-0.01646318
a3	-0.01651597	-0.01648473	-0.01647195	-0.01646671	-0.01646457	-0.01646369	-0.01646333	-0.01646318
a4	0.13610525	0.13599547	0.13595049	0.13593206	0.13592451	0.13592142	0.13592015	0.13591963
a5	-0.70005222	-0.69887603	-0.69969327	-0.69914304	-0.69952067	-0.69926445	-0.69943951	-0.69932041
a6	-0.69863536	-0.69984100	-0.69903583	-0.69959101	-0.69921542	-0.69947247	-0.69929776	-0.69941700
selisih beta	0.00263761	0.00108124	0.00044315	0.00018160	0.00007441	0.00003049	0.00001249	0.00000512

➤ Untuk gaya aksial rata-rata = 4.0706 MN

	terkaan awal	iterasi ke1	iterasi ke2	iterasi ke3	iterasi ke4	iterasi ke5	iterasi ke6	iterasi ke7	iterasi ke8
beta	1	3.40856265	4.28215959	4.73579728	4.93228378	5.03323192	5.08224778	5.10479193	5.11493427
a1	1	0.57143289	0.35100180	0.21042983	0.14184011	0.11865164	0.11010876	0.10659641	0.10508314
a2	1	-0.22128470	-0.17228741	-0.09926948	-0.05650676	-0.04233112	-0.03780636	-0.03612236	-0.03542663
a3	-1	-0.18105112	-0.17484289	-0.09915219	-0.05651006	-0.04233105	-0.03780636	-0.03612236	-0.03542663
a4	1	0.40276786	0.30223836	0.23072980	0.19330447	0.18003772	0.17426730	0.17165610	0.17048922
a5	1	-0.50722027	-0.59082948	-0.66866808	-0.68211469	-0.69021797	-0.69033056	-0.69187949	-0.69171023
a6	-1	-0.41499840	-0.61328399	-0.66006095	-0.68618359	-0.68813045	-0.69144200	-0.69127745	-0.69203889
selisih beta	1	2.40856265	0.87359695	0.45363768	0.19648651	0.10094814	0.04901586	0.02254415	0.01014234

	iterasi ke9	iterasi ke10	iterasi ke11	iterasi ke12	iterasi ke13	iterasi ke14	iterasi ke15	iterasi ke16	iterasi ke17
beta	5.11946123	5.12147584	5.12237136	5.12276923	5.12294597	5.12302447	5.12305933	5.12307482	5.12308170
a1	0.10441911	0.10412566	0.10399561	0.10393790	0.10391228	0.10390090	0.10389585	0.10389361	0.10389261
a2	-0.03512620	-0.03499426	-0.03493594	-0.03491008	-0.03489861	-0.03489351	-0.03489125	-0.03489025	-0.03488980
a3	-0.03512620	-0.03499426	-0.03493594	-0.03491008	-0.03489861	-0.03489351	-0.03489125	-0.03489025	-0.03488980
a4	0.16996993	0.16973916	0.16963665	0.16959111	0.16957089	0.16956191	0.16955792	0.16955615	0.16955536
a5	-0.69209405	-0.69201175	-0.69211356	-0.69208276	-0.69211082	-0.69210036	-0.69210830	-0.69210491	-0.69210721
a6	-0.69191401	-0.69211054	-0.69205932	-0.69211255	-0.69209446	-0.69210934	-0.69210336	-0.69210762	-0.69210572
selisih beta	0.00452696	0.00201461	0.00089551	0.00039787	0.00017674	0.00007850	0.00003487	0.00001549	0.00000688

➤ Untuk gaya aksial rata-rata = 5.0706 MN

	terkaan awal	iterasi ke1	iterasi ke2	iterasi ke3	iterasi ke4	iterasi ke5	iterasi ke6	iterasi ke7
beta	1	2.79659282	3.32573348	3.69017817	3.93840213	4.07870706	4.15146258	4.19070111
a1	1	0.64306590	0.49912733	0.41201057	0.33949495	0.28430553	0.25074483	0.23340459
a2	1	-0.24902424	-0.23585120	-0.20208110	-0.16058686	-0.12604176	-0.10405414	-0.09256806
a3	-1	-0.20374711	-0.23906114	-0.20184701	-0.16060185	-0.12604096	-0.10405418	-0.09256806
a4	1	0.36386822	0.31749189	0.28871220	0.26553231	0.24646993	0.23454548	0.22831832
a5	1	-0.45823253	-0.51143311	-0.57834573	-0.61705840	-0.64305699	-0.65586392	-0.66193314
a6	-1	-0.37491753	-0.52510092	-0.57517804	-0.61797541	-0.64275018	-0.65597517	-0.66189113
selisih beta	1	1.79659282	0.52914066	0.36444469	0.24822396	0.14030493	0.07275552	0.03923854

	iterasi ke8	iterasi ke9	iterasi ke10	iterasi ke11	iterasi ke12	iterasi ke13	iterasi ke14	iterasi ke15
beta	4.21245945	4.22446625	4.23100945	4.23454038	4.23643419	4.23744638	4.23798634	4.23827408
a1	0.22487067	0.22062664	0.21846825	0.21735036	0.21676448	0.21645528	0.21629146	0.21620448
a2	-0.08704809	-0.08440347	-0.08310138	-0.08244180	-0.08210076	-0.08192216	-0.08182793	-0.08177802
a3	-0.08704809	-0.08440347	-0.08310138	-0.08244180	-0.08210076	-0.08192216	-0.08182793	-0.08177802
a4	0.22513599	0.22347254	0.22259226	0.22212449	0.22187562	0.22174317	0.22167267	0.22163515
a5	-0.66466936	-0.66601217	-0.66667433	-0.66701856	-0.66719667	-0.66729109	-0.66734082	-0.66736730
a6	-0.66468555	-0.66600586	-0.66667681	-0.66701759	-0.66719705	-0.66729094	-0.66734088	-0.66736728
selisih beta	0.02175833	0.01200680	0.00654320	0.00353093	0.00189381	0.00101220	0.00053996	0.00028774

	iterasi ke16	iterasi ke17	iterasi ke18	iterasi ke19	iterasi ke20	iterasi ke21
beta	4.23842733	4.23850893	4.23855237	4.23857549	4.23858780	4.23859435
a1	0.21615825	0.21613366	0.21612057	0.21611361	0.21610990	0.21610793
a2	-0.08175152	-0.08173744	-0.08172995	-0.08172596	-0.08172384	-0.08172271
a3	-0.08175152	-0.08173744	-0.08172995	-0.08172596	-0.08172384	-0.08172271
a4	0.22161518	0.22160455	0.22159889	0.22159588	0.22159428	0.22159343
a5	-0.66738133	-0.66738881	-0.66739278	-0.66739490	-0.66739603	-0.66739663
a6	-0.66738134	-0.66738881	-0.66739279	-0.66739490	-0.66739603	-0.66739663
selisih beta	0.00015325	0.00008160	0.00004344	0.00002312	0.00001231	0.00000655

➤ Untuk gaya aksial rata-rata = 6.0706 MN

	terkaan awal	iterasi ke1	iterasi ke2	iterasi ke3	iterasi ke4	iterasi ke5	iterasi ke6	iterasi ke7
beta	1	2.18748074	2.40664422	2.49218229	2.53562316	2.56110398	2.57719406	2.58773252
a1	1	0.69586876	0.61858340	0.59168373	0.57804416	0.56975735	0.56440566	0.56086639
a2	1	-0.26947190	-0.27216082	-0.27096644	-0.26541798	-0.26109342	-0.25802081	-0.25591340
a3	-1	-0.22047701	-0.27526042	-0.27075014	-0.26543332	-0.26109233	-0.25802089	-0.25591339
a4	1	0.32888474	0.31099651	0.30369333	0.30192225	0.30119042	0.30079437	0.30054520
a5	1	-0.41417656	-0.42669673	-0.45376484	-0.46566711	-0.47346477	-0.47844396	-0.48172527
a6	-1	-0.33887173	-0.43442587	-0.45282418	-0.46579019	-0.47344802	-0.47844629	-0.48172494
selisih beta	1	1.18748074	0.21916348	0.08553808	0.04344087	0.02548081	0.01609008	0.01053846

	iterasi ke8	iterasi ke9	iterasi ke10	iterasi ke11	iterasi ke12	iterasi ke13	iterasi ke14	iterasi ke15	iterasi ke16
beta	2.59475868	2.59948444	2.60267717	2.60483930	2.60630542	2.60730034	2.60797580	2.60843451	2.60874608
a1	0.55849910	0.55690611	0.55583039	0.55510242	0.55460911	0.55427452	0.55404744	0.55389328	0.55378859
a2	-0.25448279	-0.25351440	-0.25285901	-0.25241515	-0.25211432	-0.25191028	-0.25177183	-0.25167784	-0.25161401
a3	-0.25448279	-0.25351440	-0.25285901	-0.25241515	-0.25211432	-0.25191028	-0.25177183	-0.25167784	-0.25161401
a4	0.30037843	0.30026445	0.30018617	0.30013245	0.30009565	0.30007050	0.30005334	0.30004164	0.30003368
a5	-0.48390522	-0.48536468	-0.48634632	-0.48700873	-0.48745670	-0.48776012	-0.48796584	-0.48810541	-0.48820015
a6	-0.48390527	-0.48536467	-0.48634632	-0.48700873	-0.48745670	-0.48776012	-0.48796584	-0.48810541	-0.48820015
selisih beta	0.00702616	0.00472575	0.00319274	0.00216213	0.00146612	0.00099492	0.00067546	0.00045871	0.00031157

	iterasi ke17	iterasi ke18	iterasi ke19	iterasi ke20	iterasi ke21	iterasi ke22	iterasi ke23	iterasi ke24	iterasi ke25
beta	2.60895773	2.60910152	2.60919921	2.60926558	2.60931068	2.60934132	2.60936213	2.60937628	2.60938589
a1	0.55371748	0.55366917	0.55363636	0.55361406	0.55359891	0.55358862	0.55358163	0.55357688	0.55357365
a2	-0.25157066	-0.25154122	-0.25152121	-0.25150762	-0.25149839	-0.25149212	-0.25148786	-0.25148496	-0.25148299
a3	-0.25157066	-0.25154122	-0.25152121	-0.25150762	-0.25149839	-0.25149212	-0.25148786	-0.25148496	-0.25148299
a4	0.30002826	0.30002457	0.30002207	0.30002036	0.30001920	0.30001842	0.30001788	0.30001752	0.30001727
a5	-0.48826448	-0.48830817	-0.48833785	-0.48835801	-0.48837170	-0.48838101	-0.48838733	-0.48839162	-0.48839454
a6	-0.48826448	-0.48830817	-0.48833785	-0.48835801	-0.48837170	-0.48838101	-0.48838733	-0.48839162	-0.48839454
selisih beta	0.00021165	0.00014379	0.00009769	0.00006637	0.00004510	0.00003064	0.00002082	0.00001415	0.00000961

➤ Untuk gaya aksial rata-rata = 7.0706 MN

	terkaan awal	iterasi ke1	iterasi ke2	iterasi ke3	iterasi ke4	iterasi ke5	iterasi ke6	iterasi ke7	iterasi ke8
beta	1	1.60301163	1.66132072	1.66909453	1.67021707	1.67040514	1.67044415	1.67045427	1.67045734
a1	1	0.73502608	0.70499332	0.70069929	0.70009040	0.69998931	0.69996795	0.69996231	0.69996058
a2	1	-0.28463539	-0.28319916	-0.28759127	-0.28786690	-0.28789871	-0.28789727	-0.28789539	-0.28789455
a3	-1	-0.23288350	-0.28566087	-0.28746785	-0.28787313	-0.28789840	-0.28789728	-0.28789539	-0.28789455
a4	1	0.29825963	0.29415798	0.29164695	0.29140035	0.29137226	0.29137032	0.29137063	0.29137086
a5	1	-0.37560924	-0.35475520	-0.35972545	-0.36000618	-0.36010192	-0.36012392	-0.36013082	-0.36013307
a6	-1	-0.30731665	-0.35888766	-0.35946301	-0.36002296	-0.36010084	-0.36012399	-0.36013082	-0.36013307
selisih beta	1	0.60301163	0.05830908	0.00777381	0.00112254	0.00018808	0.00003901	0.00001012	0.00000306

➤ Untuk gaya aksial rata-rata = 8.0706 MN

	terkaan awal	iterasi ke1	iterasi ke2	iterasi ke3	iterasi ke4	iterasi ke5	iterasi ke6
beta	1	1.05736937	1.05271109	1.05144328	1.05118532	1.05113680	1.05112785
a1	1	0.76442133	0.76657805	0.76762053	0.76785647	0.76790221	0.76791070
a2	1	-0.29601856	-0.27839444	-0.28036135	-0.28049968	-0.28052826	-0.28053321
a3	-1	-0.24219700	-0.28002996	-0.28031162	-0.28050119	-0.28052821	-0.28053321
a4	1	0.27175339	0.27503008	0.27416483	0.27406259	0.27404448	0.27404125
a5	1	-0.34222896	-0.29963841	-0.29870969	-0.29826488	-0.29818927	-0.29817510
a6	-1	-0.28000552	-0.30168384	-0.29864327	-0.29826703	-0.29818920	-0.29817511
selisih beta	1	0.05736937	-0.00465828	-0.00126781	-0.00025796	-0.00004852	-0.00000895

➤ Hasil Iterasi Betha untuk diameter luar = 47 in

	terkaan awal	iterasi ke1	iterasi ke2	iterasi ke3	iterasi ke4	iterasi ke5
beta	1	3.86096423	4.68849217	4.92040800	4.98596779	5.00448394
a1	1	0.09284842	0.02336266	0.01491657	0.01319171	0.01274780
a2	1	-0.08741472	-0.01915729	-0.01094945	-0.00950986	-0.00915820
a3	-1	-0.07152114	-0.01927896	-0.01094882	-0.00950987	-0.00915820
a4	1	0.24221927	0.10486113	0.08497461	0.07973227	0.07829717
a5	1	-0.74233455	-0.67756828	-0.71646322	-0.69823531	-0.70831260
a6	-1	-0.60736463	-0.72706318	-0.69209646	-0.71116477	-0.70130775
selisih beta	1	2.86096423	0.82752793	0.23191584	0.06555979	0.01851615

➤ Hasil Iterasi Betha untuk Diameter Luar 46 in

	iterasi ke6	iterasi ke7	iterasi ke8	iterasi ke9	iterasi ke10	iterasi ke11
beta	5.00972024	5.01120147	5.01162048	5.01173899	5.01177250	5.01178198
a1	0.01262526	0.01259083	0.01258110	0.01257835	0.01257757	0.01257735
a2	-0.00906230	-0.00903542	-0.00902784	-0.00902570	-0.00902509	-0.00902492
a3	-0.00906230	-0.00903542	-0.00902784	-0.00902570	-0.00902509	-0.00902492
a4	0.07789416	0.07778041	0.07774825	0.07773915	0.07773658	0.07773585
a5	-0.70293230	-0.70589156	-0.70428325	-0.70516368	-0.70468339	-0.70494590
a6	-0.70674962	-0.70380786	-0.70542117	-0.70454217	-0.70502287	-0.70476048
selisih beta	0.00523630	0.00148123	0.00041901	0.00011851	0.00003351	0.00000948